

## 윤작지 녹비작물종류에 따른 토양탄소 함량 변화

김경목 · 이병진 · 조영손\*

경남과학기술대학교

### Differences of Soil Carbon by Green Manure Crops in Rotated Cropping System

Kyeong-mok Kim, Byeong-jin Lee, and Young-son Cho\*

Department of Agronomy, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

This experiment was conducted to select winter-adaptable crop system or cropping systems for an enhanced carbon (C) fixation amount in plant biomass and soil. Single or mixed cropping systems of green manure crops, rye (R), triticale (TC), hairy vetch (HV), TC+HV, and control (fallow) were investigated during winter and spring. The amount and content of C and N in the above-ground biomass and soil C content by soil depth were measured under different green manure crops. The above-ground biomass was highest in TC+HV followed by R and TC with 664, 585, and 545 kg 10a<sup>-1</sup>, which exceeded the biomass of control by 181, 160, and 149%, respectively. The amount of C accumulation was higher in soil surface than deep soil, which was a similar pattern to the above-ground biomass. Therefore, green manure cropping in winter and spring seasons will be very helpful of improve soil organic matter.

**Key words:** Carbon, Green manure, Rye, Triticale, Hairy vetch

## 서 언

전 세계적으로 지구온난화의 문제가 심각히 대두되면서 온난화의 주범인 탄소를 줄이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 대부분의 선진국들은 동남아시아나 아프리카등지에 산림을 조성하거나 바이오에너지용으로 작물을 재배하면서 탄소세를 확보하는 방안 등을 적극적으로 추진하고 있다. 국제적으로 온실가스를 해결하기 위한 첫 시도는 1997년 지구 온난화 방지 교토 회의 (제3회 기후 변동 범위 조약 체결국 회의, COP3)에서의 의결한 '교토 의정서'이다. 교토 의정서의 1차 공약기간 이후 2007년 '발리 로드맵' (제13차 기후 변화협약 당사국총회)이 채택되어 2012년 이후부터는 선진국뿐만 아니라 개도국까지 새로운 기후체제에서 온실가스 감축 의무를 지게 되었다.

우리나라도 정부차원에서 기후변화에 보다 적극적인 대응체제를 구축하고자 '저탄소 녹색성장기본법' (10.4)을 시행하고 2020년까지 온실가스 감축목표를 예상배출량 (BAU) 대비 30% 결정하였다.

2007년 유엔 산하 정부간 기후변화위원회 (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007)보고서에 의하면 지난 100년간 지구 대기의 온실가스농도는 이산화탄소가 280 ppm에서 375 ppm 수준으로 약 35% 증가하였

고, 메탄가스는 700 ppb에서 1,774 ppb로, 아산화질소는 288 ppb에서 319 ppb로 온실가스가 급격히 증가한 것으로 나타났다. 또한, 온실가스는 매년 0.4% 이상의 가파른 상승을 보이고 있으며, 이러한 추세로 간다면 향후 100년간 최소 1.8°C에서 최대 6.4°C 까지 상승할 것이라고 예측하고 있어 지구온난화 절감이 절실히 필요하다고 보고하였다 (ICPP, 2007). 이러한 기온 상승은 우리나라가 속해 있는 북반구 고위도로 갈수록 더 크게 나타나고 있으며 해양보다 육지가 더 빠른 온도 상승을 나타낸다. 이산화탄소는 지구 온난화지수는 낮지만 규제 가능한 가스 (Controllable Gas) 로써 전체온실가스배출 중 약 80%이상을 차지하고 있기 때문에 가장 중요한 온실가스로 분류되고 있다. 지구온난화를 절감하기 위해서는 배출량과 분포량이 높은 이산화탄소의 절감방법이 요구되고 있다. 온실가스 절감 방법 중 하나인 작물 식생에 의한 탄소격리는 IPCC에서 오랫동안 논의되어 왔다 (Watson et al., 2000). 토양 1 m 깊이 내에는 총 탄소량이 2,500 Pg으로 구성되어 거대한 지구상의 탄소발생원이며 (Lal, 2000), 대기에 비해서는 2배, 생물체에 비해서는 3배 정도로 많은 탄소량을 가진다 (Lal, 1997; Schlesinger, 2000). 그러므로 농업은 CO<sub>2</sub>와 같은 온실가스의 원천이면서 동시에 잠재적인 흡수원이 될 수 있으며 농업적인 활동이 지구온난화를 억제 할 수 있는 역할을 기대할 수 있다. 경운, 윤작, 피복작물이용, 가축분뇨 처리와 같은 다른 농업 사례는 경작지내 탄소 함량에 영향을 미친다 (GIR, 2011).

접수 : 2012. 10. 9 수리 : 2012. 11. 14

\*연락처 : Phone: +82557513221

E-mail: yscho@gntech.ac.kr

이러한 예 중 녹비작물 재배는 탄소격리와 지구온난화 경감에 중요한 역할을 할 수 있을 것이다. 또한, 피복작물 재배는 영양분 침출을 줄이고 토양의 구조 및 완충능 향상에 기여한다 (Patrick et al., 1957). 동절기 녹비작물 재배는 대기에 분포하는 온실가스인 이산화탄소를 토양에 고정하여 탄소격리에 기여한다.

본 연구는 국내에서 대표적으로 이루어지고 있는 녹비작물 호밀, 트리티케일, 헤어리베치 단파와 트리티케일+헤어리베치 혼파를 대상으로 녹비 또는 가축 사료용으로 이용되는 겨울철 녹비작물의 종류에 따른 지상부 바이오매스를 비교하고 녹비작물의 종류에 따른 토양 깊이별 총탄소 함량의 변화와 녹비작물의 재배가 토양 내 탄소격리에 미치는 영향을 연구하여 온실가스인 이산화탄소 저감을 위한 최적의 녹비작물을 비교·선발하기 위하여 수행 하였다.

### 재료 및 방법

**재배환경 및 시험포장 조건** 윤작지 녹비작물에 따른 토양 깊이별 토양탄소 함량을 검토하기 위해 2001년 10월부터 2012년 6월까지 경상남도 밀양시 초동면 대곡리에 위치한 경남과학기술대학교 실습포장 (36°50' N, 128°26' E)에서 수행하였으며 시험 토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

처리내용은 경운조건에서 겨울철 녹비작물인 호밀 (*Secale cereale* L.), 트리티케일 (*Triticosecale Wittmack*), 헤어리베치 (*Vicia villosa* Roth), 트리티케일+헤어리베치를 사용하여 대조구와 비교 하였다. 대조구 톱새풀은 겨울철 논토양에서 자연적으로 자른 것을 기준 하였다. 화분과 작물인 호밀과 트리티케일 재배구에는 돈분액비 성분조사결과 (Table 2)를 기준으로 질소 추천시비량 6 kg 10a<sup>-1</sup>을 시비 하였으며 나머지 두과 녹비작물과 대조구는 돈분액비를 사용하지 않았다.

**포장 파종량 및 생육 조사** 경상남도 밀양시 초동면 대곡리 경남과학기술대학교 실습포장에서 공시재료를 각각 호밀 10 kg 10a<sup>-1</sup>, 트리티케일 15 kg 10a<sup>-1</sup>, 헤어리베치 9 kg 10a<sup>-1</sup>의 파종량으로 환산하여 2011년 10월 28일 조파 하였다. 파종일 후에는 20 mm의 강우로 녹비작물이 발아하기 충분한 수분 조건이었다. 생육시기에 따른 녹비작물 생육 조사는 농업과학기술 연구조사분석기준 (RDA, 2003)에 준하여 수행하였다.

**식물 시료채취 및 분석** 녹비작물의 종류별로 2012년 6월 7일에 3반복으로 채취하였다. 채취한 식물체의 전체 바이오매스를 측정하기 위해 녹비작물의 종류별 지상부를 3반복으로 채취하여 60°C에서 3일간 건조하여 건조중량을 조사하였다. 화학성 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)을 적용하여, 총 질소는 Kjeldahl 증류법으로 측정 하였다.

**토양 시료채취 및 분석** 토양시료는 시험전과 생육시기별 표토를 0-20 cm 깊이에서 Soil core를 이용하여 3반복으로 채취하였다. 채취한 토양은 서늘한 실험실에서 7일간 건조하여 2 mm 체를 통과 시켜 화학성 분석에 사용하였다. 화학성 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)을 적용하여 pH와 EC는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 pH meter (Orion 2 STAR pH meter, Thermo Fisher Scientific Inc., Beverly, USA)로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법으로 정량하였으며, 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하여 분석하였다. 치환성 K, Ca, Mg, Na 등의 양이온은 1M-NH<sub>4</sub>OAc로 추출하여 ICP (Varian 730-ES, Varian Inc., Palo AHO, USA)로 분석하였다.

**통계 분석방법** 모든 연구결과의 통계분석은 SAS 9.0 버전 (2000)을 사용하였다. 녹비작물 바이오매스 생산량 및

**Table 1. The chemical properties of soil used in this experiment.**

pH	OM <sup>†</sup>	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. Cation				Avail. SiO <sub>2</sub>
			K	Ca	Mg	Na	
(1:5)	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				mg kg <sup>-1</sup>
5.3	18	44	0.26	8.9	3.5	0.49	135

<sup>†</sup>OM, Organic matter.

**Table 2. The chemical properties of liquid pig manure used in this experiment.**

pH	T-N	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Av. K <sub>2</sub> O	Av. CaO	Av. MgO	Av. Na <sub>2</sub> O
(1:5)	----- % -----					
9.3	0.27	0.05	0.379	0.1	0.01	0.09

토양 화학성분 비교는 5% 유의수준에서 최소유의차 검정 (LSD)으로 수행하였다.

### 결과 및 고찰

**바이오매스 생산성 조사** 녹비작물별 지상부 바이오매스 생산성과 탄소와 질소의 흡수량을 조사하였다. Table 3에서 호밀재배와 트리티케일간에는 바이오매스 생산량이 통계적으로 유의성이 인정되지 않았고, 트리티케일+헤어리베치 혼파 시험구가 지상부 바이오매스가 가장 높게 나타났다.

녹비작물 재배에서 단파 보다는 혼파구에서 바이오매스 생산성이 가장 높게 나타났다. 녹비작물 혼파의 경우는 초장이 긴 화본과 작물에 의하여 월동울과 초기생장이 빨라 단파에 비하여 빨리 지표면을 피복하여 잡초발생을 억제시

키기도 하며 유용 곤충의 유인 범위가 확대되어 자연순환형 친환경농업 등에 매우 유리한 것으로 알려져 있다 (Jeon, 2009). 혼파 처리구인 트리티케일+헤어리베치의 지상부에서 총 탄소 함량이 가장 높게 나타났으며, 단파 처리구 호밀과 트리티케일은 총 탄소 함량이 낮지만 총 질소함량이 다른 처리구보다 낮아 C/N율은 높게 나타났다.

**토양 화학성분 변화** 녹비작물 생육기간중 토양 화학성분의 변화는 Table 4와 같다. 토양의 pH는 무처리구 5.9와 호밀, 트리티케일, 헤어리베치 5.7로 다른 처리구에 비하여 증가하였다. 토양의 유효인산 함량은 헤어리베치 처리구가 낮은 경향이였다. 향후 논토양에서 헤어리베치를 연차적으로 재배할 경우 토양 인산의 지속적인 감소가 예상되므로 비 재배시 적정 시비처방을 위하여 토양검정을 실시하여

**Table 3. The amount of biomass and N content as affected by selected green manure crops in paddy soil.**

Green manure	Biomass kg 10a <sup>-1</sup>	Concentration		C/N ratio	Uptake	
		C	N		C	N
Control	366d*	30.4c	0.72c	42.2b	111c	2.6d
Rye	585b	44.8a	0.86c	52.1a	262a	5.0c
Triticale	545b	41.8a	0.95c	44.0b	227a	5.2c
Hairy vetch	460c	36.8b	2.83a	13.0d	169b	13.0a
Triticale+Hairy vetch	664a	37.9b	1.27b	29.8c	251a	8.4b

\*Mean within a group followed by the same letter are not significantly different at probability  $P=0.05$  by duncan's multiple range test.

**Table 4. The chemical properties as affected by green manure crops and soil depth in paddy soil.**

		pH			EC			Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			Avail. SiO <sub>2</sub>		
		10 DAS <sup>‡</sup>	110 DAS	210 DAS	10 DAS	110 DAS	210 DAS	10 DAS	110 DAS	210 DAS	10 DAS	110 DAS	210 DAS
		(1:5)			dS m <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>					
Green manure <sup>†</sup> (A)	Con.	5.5	5.6	5.9	1.14	0.75	0.57	40	39	37	186	130	188
	R	5.2	5.7	5.7	0.72	0.91	0.51	44	42	41	107	147	137
	TC	5.2	5.5	5.7	0.80	0.83	0.54	48	39	34	113	123	137
	HV	5.3	5.0	5.7	0.89	0.75	0.55	44	43	31	135	135	148
	TC+HV	5.3	5.8	5.2	0.89	0.93	0.62	44	50	46	135	179	111
	LSD <sub>.05</sub>	0.08	0.19	0.15	0.011	0.097	0.089	6.8	6.7	6.9	23.0	26.0	20.8
Soil depth (Cm: B)	0-5	5.0	5.0	5.1	0.86	0.91	0.62	50	50	45	103	85	89
	5-10	5.1	5.2	5.2	1.00	0.98	0.70	50	49	45	108	103	99
	10-15	5.5	5.7	5.8	0.90	0.77	0.53	40	32	37	150	147	149
	15-20	5.6	6.0	6.3	0.79	0.68	0.47	36	41	24	180	217	231
	LSD <sub>.05</sub>	0.19	0.20	0.13	0.072	0.078	0.075	5.7	5.5	5.6	19.2	21.2	17.0
	A*B <sup>§</sup>	**	ns	*	**	**	ns	**	**	**	**	*	*

<sup>†</sup>Green manure: R, Rye; TC, Triticale; HV, Hairy vetch.

<sup>‡</sup>DAS, Day after seeding.

<sup>§</sup> ns, \*, \*\* Nonsignificant or significant at 0.05 and 0.01 probabilitise, respectively.

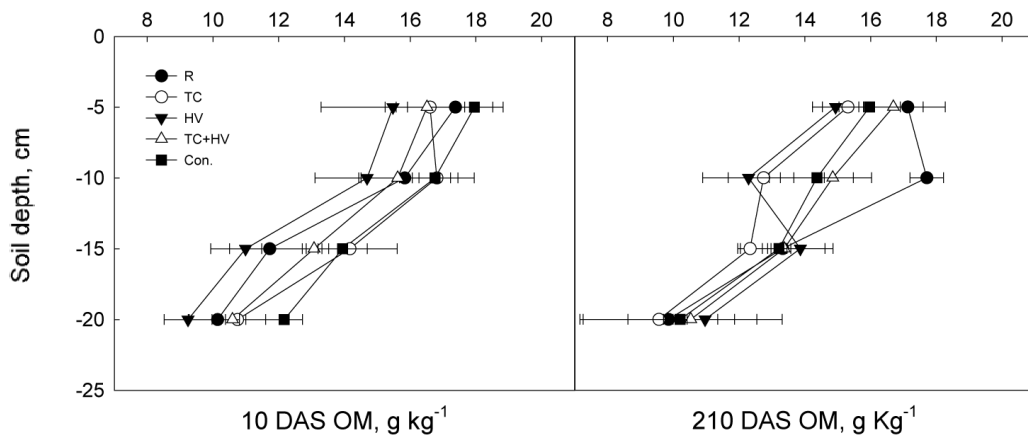


Fig. 1. Carbon accumulation patterns of the selected green manure crops in paddy soil. DAS, Day after seeding.

인산 교정을 위한 인산질 비료를 사용해야 할 것으로 판단되었다.

**윤작지 토양 탄소 함량 변화** 토양 내 탄소 함량 변화는 Fig. 1과 같다. 녹비작물 입모시기에 표토의 유기물 함량이 심토보다 높은 경향을 보였으며 대조구가 녹비작물 재배구에 비해 높은 경향을 보였다. 수확시기에는 호밀이 가장 높게 나타났고, 트리티케일+헤어리베치, 대조구, 트리티케일, 헤어리베치 순으로 나타났으며, 토양 깊이별 유기물 함량은 입모시기와 유사한 경향을 보였다. 호밀을 재배한 윤작지에서 높은 유기물 함량은 탄소 수지 고정을 위한 가장 유망한 피복작물 중 하나로 간주할 수 있을 것이다.

## 요 약

본 연구는 국내에서 대표적으로 이루어지고 있는 녹비작물인 호밀, 트리티케일, 헤어리베치 단파와 트리티케일+헤어리베치 혼파를 대상으로 온실가스인 이산화탄소 저감을 위한 최적의 녹비작물을 선발 하기위하여 수행되었다.

윤작지 녹비작물의 지상부 바이오메스는 트리티케일+헤어리베치  $664 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ , 호밀  $585 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ , 트리티케일  $545 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 이었으며 대조구 대비 트리티케일+헤어리베치 181%, 호밀 160%, 트리티케일 149% 증가하는 경향을 보였다. 녹비작물 재배시기 동안 표토의 유기물 함량이 심토보다 높은 경향을 보였다. 토양 유기물 함량은 호밀 처리구에서 가장 높았고 그 다음이 트리티케일+헤어리베치 순으로 나타났다. 지상부 바이오메스 생산량이 많은 호밀, 트리티케일+헤어리베치 재배구에서 가장 높은 유기물 함량을 보인 것은 탄소함량과 C/N을 때문인 것으로 분석 (Wang et al., 2010)되며 C/N율은 토양 탄소와 밀접하게 관련 있으며 바이오메스 품질 (Mirsky et al., 2008)과 바이오메스 분해율을 결정하는 중요한 요인(Kemp et al., 2003) 이므로 본 연구에서

호밀과 트리티케일+헤어리베치는 녹비작물로 바이오메스 생산량도 높고 토양 탄소 함량 증진에도 효과가 높아 이산화탄소 저감에 효과적일 것이다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ90696 12012)의 지원에 의해 이루어진 것임을 밝힙니다.

## 인 용 문 헌

- ICPP Fourth Assessment Report. 2007. Climate change 2007: Synthesis Report, IPCC, Geneva, Switzerland.
- Kemp A.H., M.A. Gray, P. Line, R.B. Silberstein, and P.J. Nathan. 2003. Preliminary electrophysiological evidence for modulation of the processing of negative affect by serotonin. *Brain Cognition*. 51:198-200.
- Lal, R. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. *Soil Till. Res.* 43:81-107.
- Lal, R. 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environ. Pollut.* 116:353-362.
- Lee, S.B., M. Haque, P. Pramanik, S.Y. Kim, and P.J. Kim. 2011. Comparison of carbon sequestration potential of winter cover crops in rice paddy soil. *Korean J. Environ. Agric.* 30:234-242.
- NIAST (National institute of Agricultural Science and Technology), 2000. Methods of analysis of soil and plant, NIAST, Suwon, Korea.
- Mirsky, R., A. Woodhoo, D.B. Parkinson, P. Arther-Farraj, A. Bhaskaran, and K.R. Jessen. 2008. Novel signals controlling embryonic Schwann cell development, myelination and dedifferentiation. *J Periph Nerv Sys.* 13:122-135.

- Patrick, W.H., C.B. Haddon, and J.A. Hendrix. 1957. The effect of longtime use of winter cover crops on certain physical properties of commerce loam. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 21:366-368.
- RDA (Rural Development Administration). 2003. Standard of analysis and survey for agricultural research. RDA, Suwon, Korea.
- SAS Institute. 2000. SAS Version 9.0 for Window, SAS Inst., Cary, NC.
- Schlesinger, W.H. 2000. Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism. *Agr. Ecosyst. Environ.* 82:121-127.
- Third National Communication of the Republic of Korea Under the United Nations Framework Convention on Climate Change. 2011. Greenhouse gas inventory & research center of Korea. GIR, Seoul, Korea.
- Wang, K.H., C.R.R. Hooks, S.P. Marahatta, and R. Manandhar. 2010. Use of a strip-till cover crop system to manipulate above and below ground organisms in cucurbit plantings. Meeting of the American Phytopathological Society (APS) at Charlette, NC. Aug. 2010.
- Watson, R.T., I.R. Noble, B. Bolin, N.H. Ranindranath, D.J. Verardo, and D.J. Dokken. 2000. Land use, land-use change and forestry. Special report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, UK.
- W.T. Jeon, K.Y. Seong, J.K. Lee, M.T. Kim, and H.S. Cho, 2009. Effects of seeding rate on hairy vetch (*Vicia villosa*) - rye (*Secale cereale*) mixtures for green manure production in upland soil. *Korean J. Crop Sci.* 54:327-331.