Effect of Organic Amendments on Rice Yield and Soil Carbon Fraction in Paddy Soil

Hyeon-Suk Cho*, Myung-Chul Seo, Jun-Hwan Kim, Wan-gyu Sang, Pyeong Shin, and Jaekyeong Baek

National Institute of Crop Science, Wanju-Gun 55365, Korea

*Corresponding author: chohs@korea.kr

ABSTRACT

Received: September 25, 2019

Revised: October 25, 2019

Accepted: October 28, 2019

In agricultural land, organic matter plays an important role in crop productivity by improving the physical properties of soil and supplying nutrients to plants. In this study, field experiment was carried out to assess the effect of three organic amendments, [HV(Hairy vetch), OCC(Oil Cake Compost), LMC(Livestock Manure Compost)] on paddy rice growth and soil carbon fractions. According to a survey of early rice growth after using organic amendments, there were 34.6 - 37.9 cm in plant height and 11.3 - 14.9 in number of panicles per plant, which was not different between the types of organic amendment and control rice growth and yield at the harvest were better in organically amended-plot than in the control. Based on growth parameters as affected by organic amendments, rice growth was better in the order of OCC > HV > LMC > Control. The number of panicle per m² was 591, which was 1.5 - 1.7 times higher than that of other organic amendment, and about twice as high as that of the control. However, the percentage of ripened grain (76.5%) and the 1000-grain weight of brown rice (21.0 g) were lower than other organic amendment application. Rice yield was much better in oil cake compost (5.9 ton ha⁻¹) than in other organic amendment treatments. Soil carbon content increased in all organic amendment application after the test. T-C content was high in OCC and lower in HV and LMC. The carbon content of each type was the largest with the Humin carbon content and the similar amount of humic acid carbon and fulvic acid carbon content. The proportion of soil carbon fraction was about about 59 - 67% of humin carbon, 13 - 23% of fulvic acid carbon content and 19 - 26% of humic acid carbon. In conclusion, in view of rice yield and soil carbon, it is suggested that organic amendment can be advantageous to paddy soil and oil cake compost was considered potential resources as alternative chemical fertilizer.

Keywords: Rice yield, Rice growth, Soil carbon, Organic amendments

The rice yield and soil carbon(T-C) content by different organic amendment during the harvest season.

Introduction

농경지에서 유기물은 토양의 물리·화학적 특성 개량, 토양 온도 상승, 토양 완충 능력을 향상시켜 가뭄이나, 홍수에 재해 피해를 완화시키고 작물 생산성을 향상시키는 역할을 한다 (Lee et al., 2006; Clark, 2007; Jeon et al., 2009; Cho et al., 2015). 화학비료가 부족했던 1970년대는 벼 재배과정에서 생산된 볏짚을 다시 농경지에 환원하는 방법으로 지력증진을 유지하였다. 반면 최근에는 축산농가의 볏짚 조사료 이용율 증가와 경종농가의 볏짚 판매로 인한 부수입 발생으로 벼 생산과정에서 부수적인 생산된 볏짚은 대부분 조사료로 이용하기 위해 농경지에서 수거되고 있다. 이러한 과정에서 농경지의 유기물 투입량은 점차 줄어들게 되고 이는 결국 토양 지력이 감소하는 결과를 초래하였다. 2013년 보도자료에 의하면 볏짚 생산량의 약 72%가 조사료로 이용되고, 약 28%만이 농경지에 환원된다고 하였다. 국내 논 토양의 유기물 함량도 한 때 26 g kg^{-1} 까지 높아졌으나 점차 감소되어 2010년에는 23 g kg^{-1} 까지 낮아진 것으로 조사되었다. 또한, 농촌진흥청에서 2011년에 실시한 농업환경변동조사 결과를 보면 국내 유기물 함량이 부족한 논 토양은 전체 논 면적의 약 51%에 달하여 농경지 지력 증진을 위한 노력이 필요하다고 하였다. 농식품부는 농경지 지력증진을 위하여 유기물 보조금 지원, 쪼갬작물 재배 권장 등 지속적인 정책을 시행하여 농경지에 유기물 향상을 위해 노력하고 있다. 농경지에서 유기물 환원에 의한 효과를 보면 Kim et al. (2004)은 유기물을 환원한 토양에서 용적밀도는 감소하고 통기성과 대공극률이 증가하며 전단저항성이 감소되는 등 토양물리성이 개선되었다고 하였으며, 물리성 개선효과는 볏짚퇴비에서 높았고 헤어리베치, 가축분퇴비에서는 낮았다고 하였다. Kim et al. (2006)은 보릿짚을 16년 동안 사용한 논에서 유기물 무사용에 비하여 토양 공극률이 1.3%, 토양 유기물 함량이 36% 증가되었으며, 쌀 수량도 6%나 증가되었다고 하여 유기물을 공급하여 토양 물리성 개량과 쌀 수량 증대에 기여하였다고 하였다. 농경지에 유기물을 사용하지 않고 21년 동안 벼를 재배한 결과 9년째부터 양이온치환용량 (cation exchange capacity)이 월등히 감소하기 시작하였고 쌀 수량은 10년째부터 급격하게 감소되어 벼 안전 수량을 생산하기 위해서 유기물 사용이 꼭 필요하다고 하였다 (Jeong et al., 2001). 이렇게 유기물은 토양에서 물리화학적인 특성을 개선하며, 이런 기능들은 서로 유기적으로 도움을 주어 식량생산을 안정적으로 확보할 수 있도록 도와주고 있다. 이 뿐만 아니라 Jung et al. (2010)은 남부지방에서 벼-보리 작부체계를 이용하면 농경지의 이산화탄소 고정량을 증진시킬 수 있다고 하였는데 토양 깊이가 0 - 20 cm에서 벼-보리 작부체계의 토양 내 탄소 함량이 벼 단작구 (1.59%)에 비해 보리제거구에서 약 61%, 보리 환원구에서 65%가 증가되었다고 하였다. 이는 반대로 농경지에 유기물을 사용하면 토양 내에 탄소를 저장함으로써 이산화탄소 배출을 줄여줄 수도 있어 온실가스 저감 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료되었다. 토양에 투입된 유기물은 1차적으로 토양 미생물의 작용을 받아 분해되는데 이 때 토양 온도, 수분함량, 토양 특성, 질소 함량, 유기물 종류 등에 따라 분해 속도나 분해 기간이 달라지고 이는 토양의 탄소 축적량과 작물생육에 직, 간접적으로 영향을 미친다 (Choi et al., 2010; Ali, et al., 2014; Kim et al., 2014).

따라서 본 시험은 논 토양에서 유기물 종류를 달리하여 사용하고 벼를 재배할 때 유기물 종류가 토양탄소 변동에 미치는 영향과 유기물이 함유하고 있는 양분함량이 벼 생육 및 수량에 미치는 효과를 분석하기 위하여 시험을 수행하였다.

Materials and Methods

본 시험은 국립식량과학원의 논포장 (수원)에서 2014년 5월부터 11월까지 논 토양에서 유기물과 화학비료 (대조

구)를 투입하여 벼를 재배하였다. 이 때 사용한 유기물은 헤어리베치 (Hairy Vetch, HV), 유박퇴비 (Oil Cake Compost, OCC), 가축분발효퇴비 (Livestock Manure Compost, LMC) 3종류였으며 유기물 사용량은 5월 25일에 벼 질소 표준시비량인 90 kg ha^{-1} 에 해당되는 양을 환산하여 HV는 2.2 ton ha^{-1} , OCC는 1.9 ton ha^{-1} , LMC는 5.0 ton ha^{-1} 을 투입하고 경운하였다. 벼 이앙은 유기물 환원 3주 후인 6월 17일에 $30 \times 15 \text{ cm}$ 간격으로 중묘를 손 이앙 하였다. 작물재배 중 유기물 시용구는 질소 (T-N), 인산 (P_2O_5), 칼리 (K_2O)를 모두 무시용 하였으며, 화학비료구는 질소 90 kg ha^{-1} , 인산 45 kg ha^{-1} , 칼리 57 kg ha^{-1} 을 분시 비율에 맞게 나누어 시비하였다. 이 때 화학비료는 요소 (질소), 용과린 (인산), 염화칼리 (칼리)를 사용하였다. 물관리, 제초제 등 기타 재배 방법은 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 실시하였다. 벼 수량 및 수량구성요소는 농촌진흥청의 농업과학기술연구 조사분석 기준 (RDA, 2003)에 의거하여 조사하였다.

토양의 화학적 특성은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 pH는 토양과 증류수를 1:5로 희석하여 pH meter로 측정하였고, T-C는 원소분석기 (LECO CNS-2000), 치환성양이온과 인산 함량은 동시 침출법으로 추출하여 유도결합플라즈마분광분석기 (ICP, Inductively Coupled Plasma Spectrometer, GBC SDS-270, AU)를 이용하여 정량하였다. 토양 내 탄소함량은 토양 표토 (0 - 15 cm)를 채취하여 음건 후 2 mm mesh를 통과시켜 사용하였으며 분석 항목은 T-C, 휴믹산 탄소 (humic acid carbon, HaC), 풀빅산 탄소 (Fulvic acid carbon, FaC), 휴민 (humic carbon, HnC) 탄소 이었다. T-C함량은 시험 전과 같이 원소분석기 (LECO CNS-2000)를 이용하여 분석하였고, 형태별 탄소 함량은 산과 염기용액을 이용한 용해도 차이에 따라 분획하였다 (Christl et al., 2000; Michael and Hayes, 2006). 먼저 토양 시료 4 g에 40 mL 0.5N NaOH 용액을 첨가하여 상온에서 12시간 진탕, 침출 후 7,000 rpm에서 15분간 원심분리하여 상등액과 침전물을 분리하였다 (Solution A). 이때 상등액에 함유된 유기 물질은 풀빅산과 휴믹산 탄소로 분류하였고 염기에 용해되지 않고 남은 토양에 포함된 유기 침전물은 난분해성인 휴민 탄소함량으로 분류하였다. solution A에 3N HCl를 첨가하여 pH를 1.0으로 조절 후 약 16시간 상온에서 방치한 다음 7,000 rpm에서 15분간 원심분리하여 상등액과 침전물을 분리하여 상등액을 추출하여 탄소 함량을 분석하였다 (Solution B). 산에 용해되어 상등액에 포함된 탄소는 풀빅산 탄소로 침전물은 휴믹산 탄소로 정의하였다. 산, 염기로 분획된 용액의 탄소 함량은 TOC analyzer (TOC-LMSH/CPH, Simazu, Japan)를 이용하여 분석하였다. 풀빅산탄소함량은 Solution B의 탄소함량으로, 휴믹산탄소함량은 Solution A 빼기 Solution B의 탄소함량으로 그리고 휴민탄소함량은 T-C함량 빼기 Solution A의 탄소함량으로 정의하였다. 물에도 용해될 수 있는 당류 등의 이분해성 탄소화합물의 경우 양은 많지 않고 대부분이 알칼리와 산에 용해되는 풀빅산 분획에 포함될 것으로 추정되어 본 시험에서는 별도로 정량화하지는 않고 풀빅산에 포함되는 것으로 가정하고 시험을 수행하였다.

통계 분석은 SAS 9.2버전을 이용하여 벼 수량 및 생육 등을 5% 유의수준에서 Duncan's multiple test를 수행하였다.

Results and Discussion

시험 토양의 토성은 사양토로 시험 전 화학적 성분 함량은 Table 1과 같이 토양 pH는 5.3이고 T-C함량은 6.8 g kg^{-1} , 유효인산 함량은 112 mg kg^{-1} , 치환성칼리 함량은 $0.57 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 으로 토양산도, 유효인산함량, 칼리함량은 국내 논 토양의 평균수준에 속하였으나 유기물함량은 논토양 기준 함량 ($20 - 30 \text{ g kg}^{-1}$)보다 낮아 유기물 환원이 요구되었다.

Table 1. The chemical properties of soil before experiment.

Soil texture	pH	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cations		
				Ca	Mg	K
	1:5	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----		
Sand Loam	5.3	6.8	112	3.26	0.57	0.62

유기물 종류별 양분함량은 Table 2와 같이 탄소함량 (T-C)은 헤어리베치녹비 (HV)구에서 438.7 g kg⁻¹이었고, 유박퇴비 (OCC)구는 397.0 g kg⁻¹, 가축분발효퇴비 (LMC)구는 366.8 g kg⁻¹으로 HV구에서 약간 높았고 LMC구에서 가장 낮았다. 유기물의 전 질소 (T-N) 함량은 OCC구 (46.4 g kg⁻¹)에서 가장 높았고, 다음은 HV구 (40.8 g kg⁻¹)로 두 유기물원 모두 약 40 g kg⁻¹ 이상으로 많은 질소를 함유하고 있었다. LMC구의 질소 함량은 18.0 g kg⁻¹으로 OCC구, HV구보다 2.3 - 2.6배 낮았다. 탄소 함량은 유기물원간에 차이가 적었으나 질소 함량은 유기물 종류에 따라 약 2배 이상 큰 차이를 보였다. 토양에 환원된 유기물이 분해될 때 질소는 미생물의 에너지원으로 사용되기 때문에 질소 함량이 높으면 유기물을 짧은 기간 내 분해할 수 있다 (Choi et al., 2010; Cho et al., 2015). Yang et al. (2009)에 의하면 유기물의 부속 속도는 C/N율과 밀접한 관계가 있으며 C/N율이 약 25미만이면 토양 환원시 빠르게 분해된다고 하였다. 시험에 사용된 유기물의 C/N율은 HV구, OCC구, LMC구 각각 10.8, 8.6, 20.4으로 3종류의 유기물 모두 토양 환원 후 부속이 빠르게 진행될 것으로 사료되었으며 특히, T-N함량이 높았던 OCC구, HV구의 C/N율이 각각 8.6, 10.8로 LMC구보다 약 2배 정도 낮아 토양 환원 후 빠르게 분해되었을 것으로 사료되었다.

Table 2. Contents of total carbon (T-C), total nitrogen (T-N), and C/N ratio of different type of organic amendment before experiment.

Organic matter	Hairy vetch	Oil cake compost	Livestock manure compost
T-C (g kg ⁻¹)	438.7a	397.0b	366.8c
T-N (g kg ⁻¹)	40.8b	46.4a	18.0c
C/N ratio	10.8b	8.6b	20.4c

[†]a-d : Means within a column not followed by same letters are significantly different by DMRT 5%.

부속이 덜된 유기물을 농경지에 환원하면 부속 과정에 미생물이 에너지원으로 질소를 이용하기 때문에 미생물과 벼간의 양분 경합이 발생하여 벼 생육초기에 생육 불량이 종종 발생한다. 따라서 벼 이앙 후 20일경에 초기 생육을 조사하였다 (Fig. 1). 유기물 종류별 초장은 34.6 - 37.9 cm, 경수는 11.3 - 14.9개로 처리 간에 약간의 차이는 보였으나 통계적인 유의성 없이 유기물 환원구와 대조구 모두 양호하였다. 벼 초장은 HV구에서 대조구보다 약간 짧았으나 LMC구, OCC구는 차이가 없었다. 경수는 유기물 환원구에서 대조구보다 많았으며 특히, OCC구는 14.3개로 다른 처리구보다 약간 많았다. 이앙 후 초기 생육은 유기물 사용으로 인한 피해없이 모든 유기물 투입구에서 초기생육이 충분하게 이루어졌다고 할 수 있다.

Fig. 1. The plant height and number of panicles of rice at the early part of rice growth.

[†] HV (hairy vetch), LMC (livestock manure compost), OCC (Oil cake compost).

등숙기 벼 수량 및 수량구성요소는 Table 3과 같이 유기물 처리구에서 대조구보다 생육 및 수량이 모두 양호하였으며 특히, OCC구에서 간장은 75 cm, 수장은 22.5 cm 로 대조구나 다른 유기물 처리구보다 길었고, m²당수수도 103개로 가장 많았으나 수량구성요소인 등숙율(76.5%)과 1000립중(1.5 - 2.0 g)이 다른 처리구보다 낮았다. 쌀 수량은 생육이 좋았던 OCC구에서 5.9 Mg ha⁻¹로 가장 많았으며 HV구 > LMC구 순이었다. LMC구에서 수량구성요소는 좋았는데 쌀 수량은 적었던 이유는 LMC구의 등숙율이 HV구보다 약 3.6% 낮았기 때문으로 사료되었다. 벼 생육 및 쌀 수량 측면에서 볼 때 유기물을 사용하는 것이 벼 생육에 유리하고, 유기물 종류 중에는 OCC가 가장 좋았다 이는 OCC 자체의 질소함량이 높고 C/N율이 낮아 토양 환원 후 빠르게 분해되어 벼 생육에 양분을 공급하였기 때문으로 판단되었다.

Table 3. Yield and yield components of rice as affected by different treatments.

Treatments	Culm length	Panicle length	No. of panicles per m ²	No. of spikelet /panicle	Percent ripened grain	1000 grain weight	Rice yield
	cm	cm				g	Mg ha ⁻¹
HV	60.8b	18.4bc	344bc	99a	93.5a	22.5ab	4.8b
LMC	63.2b	16.5c	398b	109a	89.9ab	23.0a	4.4b
OCC	75.0a	22.5a	591a	103a	76.5c	21.0c	5.9a
Control	56.9c	19.8b	305c	101a	93.0a	23.0a	3.7c

[†] HV (hairy vetch), LMC (livestock manure compost), OCC (Oil cake compost).

[‡] Means within a column not followed by same letters are significantly different by DMRT 5%.

유기물 환원 후 토양 내 총 탄소 함량(T-C)의 변화는 Fig. 2와 같이 대조구보다 유기물사용구에서 전체적으로 높았다. 유기물 종류별로는 OCC구에서 T-C함량이 12 g kg⁻¹으로 대조구보다 약 1.2배 높았으나 LMC구, HV구와는 차이 없이 비슷하였다. 시기별 T-C함량 변이는 유기물 투입 후 급격히 증가하여 6월에 가장 높았고 이 후 서서히 감소되는 경향을 보여 농경지에 유기물을 사용하면 토양 T-C함량은 유기물이 투입되는 시점에서 급격한 증가하고 그 이후 시간이 경과함에 따라 서서히 감소하는 패턴을 그린다(Seo et al. (2015)의 연구결과와 같은 경향이였다. 유기물 탄소 함량이 가장 높았던 HV구의 탄소 함량이 OCC구보다 낮았는데 이는 헤어리베치는 C/N율이 낮고 질소 함량이 높아

토양 환원 후 짧은 시간 내에 분해되어 이용되었기 때문에 토양탄소 함량 증가에 직접적으로 기여하지 못했기 때문으로 판단되었다 (Song et al., 2010; Seo et al., 2015). 또한 LMC구는 환원된 유기물 양은 다른 유기물보다 2배정도 많은데도 낮은 토양탄소 함량을 보였는데 이는 토양 투입 후 분해가 늦게 진행되어 토양 중 총탄소함량에 영향을 미치는 속도가 늦었기 때문으로 사료되었다.

Fig. 2. The changes of total carbon content (T-C) of soil by application organic amendments in paddy soil.

농경지에 환원된 유기물은 미생물의 분해를 거쳐 Amendments 분해가 빠른은 기체 형태로 대기 중으로 방출되고 일부는 이분해성인 폴빅산과 휴믹산 탄소화합물로 전환되어 작물에 흡수·이용되고 분해가 어려운 난분해성 물질인 휴민 탄소화합물은 토양에 저장된다 (Seo et al., 2015). 따라서 토양 지력 증진에 도움이 되는 탄소 형태는 난분해성인 휴민탄소화합물이다. Table 4는 T-C에 대한 폴빅산 탄소, 휴믹산 탄소, 휴민탄소 등 탄소화합물 종류에 대한 비율을 나타낸 표이다. T-C함량 대비 폴빅산 탄소는 약 12.8 - 21.0%, 휴믹산 탄소는 17.3 - 26.3%, 휴민 탄소는 60.7 - 61.9%를 차지하여 토양 내 탄소 함량의 비율은 휴민탄소가 가장 높고 휴믹산탄소 > 폴빅산탄소 순이었다. 난분해성 탄소인 휴민탄소함량이 전체탄소함량의 약 60%를 차지하였으며 이는 토양에 투입된 유기물의 탄소는 1년에 약 40% 정도 분해, 이용되고 나머지는 휴민탄소형태로 토양에 축적됨을 의미한다. 유기물별로는 이분해성 비율은 HV구와 OCC구는 휴믹산 탄소 함량이 높고 폴빅산탄소함량이 낮은 반면 LMC구는 폴빅산탄소함량이 높고 휴믹산탄소함량이 낮아 서로 상반된 양상을 보였다. Seo et al. (2015)는 식물 잔재로 구성된 헤어리베치나 벚짚퇴비는 토양 내 탄소로 축적되는 부분보다는 무기화를 거쳐 식물체에 양분으로 공급되는 양이 더 많다고 하였는데 본 결과에서도 헤어리베치의 휴민탄소함량이 가장 낮았다. 난분해성인 휴민형태의 탄소 함량은 유기물 종류별로 차이가 크지않은 반면 분해가 빠른 이분해성탄소인 휴믹산탄소와 폴빅산탄소함량은 유기물 종류별로 차이가 크게 나타났다. 질소 함량이 높고 C/N을 낮은 HV구와 OCC구는 휴민산탄소함량이 높았고 질소 함량이 낮고 C/N율이 상대적으로 높았던 LMC구에서는 폴빅산탄소함량이 더 높았다. 화학비료를 사용한 대조구는 HV구, OCC구와 같이 휴민산탄소함량이 더 높아 분해 속도가 빠른 유기물에서 휴민산탄소함량이 더 높아 HV구와 OCC구에서 분해가 빨리 일어났음을 확인하였다.

Table 4. The ratio of fulvic acid carbon, humic acid carbon, humin carbon by the T-C in soil applied with organic amendments.

Treatments	Carbon ratio by the T-C		
	Fulvic acid Carbon	Humic acid Carbon	Humin Carbon
Hairy vetch	12.8	26.3	60.9
Livestock manure compost	21.0	17.3	61.7
Oil cake compost	16.7	22.6	60.7
Control	15.9	22.2	61.9

수확 시기의 정조 수량과 벧짚 수량은 Table 5와 같이 OCC구에서 18.2 ton ha^{-1} 로 가장 많았고 그 다음은 HV구, LMC구, 대조구 순이었다. 처리구별 정조 수량은 ha당 4.8 - 8.8 ton이었고 벧짚 수량은 5.0 - 9.4 ton이었다. 벧 생육초기에 양분이 과잉공급되면 영양생장 기간이 길어져 쌀 수량보다 벧짚생산을 더 많이 한다. 즉 벧 수량보다는 벧짚 생산에 더 많은 양분을 이용함으로써 최종 산물인 벧 생산량이 줄어드는 결과를 초래한다. 따라서 양질의 유기물은 양분 함량이 높은 것도 중요하지만 양분 배출량이 벧 생육 전반기에 골고루 이루어져 벧 생산량을 증가시켜 주는 것이 더 중요하다. 시험에 이용된 유기물은 정조 수량 대비 벧짚 수량이 0.95 - 1.08배로 벧짚 수량과 정조 수량의 차이가 적어 양분의 유실이 적었다. 또한 이삭과 벧짚 수량 간에 차이가 가장 큰 유기물은 LMC구와 HV구로 각각 약 1.08, 1.07배였고, 수량이 가장 높은 OCC구는 0.95배로 벧짚수량보다 정조 수량이 더 많았다.

Table 5. Yield of rough rice and rice straw by kinds of different organic amendments at harvesting time.

Treatments	Hairy vetch	Livestock manure compost	Oil cake compost	Control
Rough rice	6.3b	5.8b	8.8a	4.8c
Yield (ton ha ⁻¹) Rice straw	6.8b	5.5bc	9.4a	5.0c
Total	13.1b	11.3bc	18.2a	9.8c

*Means within a column not followed by same letters are significantly different by DMRT 5%.

수확시기에 벧 지상부를 이삭과 벧짚 (줄기+잎)으로 나누어 T-C와 T-N 흡수량을 분석하였다(Fig. 3). 벧 식물체가 흡수한 T-N함량은 유기물 종류별로 차이가 크게 나타난 반면 T-C함량은 유기물 종류별로 차이가 거의 없었다. 벧 부위별 T-N흡수량은 벧짚보다 이삭에 집중되어 있었으며 유기물 종류간에 차이는 이삭보다는 벧짚에서 더 큰 차이를 보였다. T-N흡수량은 벧짚 대비 이삭 비중이 약 1.2 - 2.1배까지 차이를 보였는데 HV구, LMC구, 대조구는 벧짚과 이삭간에 차이가 큰 반면 OCC구는 약 1.24배로 이삭과 벧짚 간의 질소흡수량의 차이가 적었다. 이는 OCC 처리구의 이삭과 벧짚의 건물중이 많았고 식물체의 질소함량이 높았기 때문이다. 식물체의 질소함량이 높았던 것은 OCC 자체의 질소 함량이 높고 C/N율이 낮아 분해가 빠르게 이루어져 양분공급이 벧 생육 전반에 걸쳐 골고루 공급되었기 때문으로 사료되었다. T-C 흡수량은 유기물 종류, 벧 식물체의 부위에 따른 차이가 거의 없었다. 양분 흡수량 면에서 볼 때 화학비료 사용보다는 유기물 사용구에서 T-N흡수량이 더 높았으며 유기물 종류별로는 OCC구에서 가장 많았다.

Fig. 3. Total carbon (T-C) and nitrogen (T-N) absorption of rice plant part at harvest times.

[†]HV (hairy vetch), LMC (livestock manure compost), OCC (Oil cake compost).

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01356602)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ali, M.A., M.A. Sattar, M.N. Islam, and K. Inubushi. 2014. Integrated effects of organic inorganic and biological amendments on methane emission, soil quality and rice productivity in irrigated paddy ecosystem of Bangladesh: field study of two consecutive rice growing seasons, *Plant Soil*. 378:239-252.
- Cho, H.S., M.C. Seo, T.S. Park, and H.W. Kang. 2015. Effects of tillage depths on methane emission and rice yield in paddy soil during rice cultivation. *J. Crop Sci.* 60:167-173.
- Choi, B.S., J.A. Jung, M.K. Oh, S.H. Jeon, H.G. Goh, Y.S. Ok, and J.K. Sung. 2010. Effects of green manure crops on improvement of chemical and biological properties in soil, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(5):650-658.
- Jeon, W.T., K.Y. Seong, J.K. Lee, M.T. Kim, and H.S. Cho. 2009. Effects of seeding rate on hairy vetch (*Viciavillosa*)-Rye(*Secalecereale*) mixtures for green manure production in upland soil. *Korea J. Crop Sci.* 54(3):327-331.
- Jeong, J.H., B.W. Sin, and C.H. Yoo. 2001. Effects of the successive application of organic matters on soil properties and rice yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 34:129-133.
- Kim, G.Y., J. Gutierrez, H.C. Jeong, J.S. Lee, M.D. M. Haque, and P.J. Kim. 2014. Effect of intermittent drainage on methane and nitrous oxide emissions under different fertilization in a temperate paddy soil during rice cultivation, *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 57(2):229-236.
- Kim, S.Y., S.O. Shin, Y.C. Ku, and S.T. Park. 2006. Effect of Long-term Dry-seeded Rice on Growth, Rice Yield and Soil Physicochemical Properties in Rice-Barley Double Cropping System. *Korean J. Intl Agri.* 18(4):281-286.
- Kim, L.Y., H.J. Cho, and K.H. Han. 2004. Changes of Physical properties of soils by organic material application in farm land., *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 37(5):304-314.
- Lee, Y.H., S.M. Lee, J.K. Sung, D.H. Choi, H.M. Kim, and R G. H. 2006. Development of soil management technique in organic rice cultivation. *Kor. J. of Organic Agric.* 14(2):205-217.

- Michael, H. and B. Hayes. 2006. Solvent system for the isolation of organic components from soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:986-994.
- NIAS. 2000. Analytical methods of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Pramanik, P., MD. M. Haque, S.Y. Kim, and P.J. Kim. 2014. C and N accumulations in soil aggregates determine nitrous oxide emissions from cover crop treated rice paddy soils during fallow season, *Sci. of the total Environ.* 490:622-628.
- RDA (Rural Development Administration). 2003. Standard measurement and analysis in agricultural research and development, RDA, Suwon, Korea.
- Song, B.H., K.A. Lee, W.T. Ieon, M.T. Kim, H.S. Cho, I.S. Oh, C.G. Kim, and U.G. Kang. 2010. Effects of green manure crops of legume and gramineae on growth responses and yields in rice cultivation with respect to environment friendly agriculture. *J. Crop Sci.* 55(2):144-150.
- Yang, C.H., J.H. Ryu, T.K. Kim, S.B. Lee, J.D. Kim, N.H. Baek, W.Y. Choi, and S. J. Kim. 2009. Effect of green manure crops incorporation with rice cultivation on soil fertility improvement in paddy field. *Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 42(5):166-173.