

## Decomposition of Livestock Manure in Soils Cultivated with Chinese Cabbage along an Altitude Gradient

Yong-Seon Zhang, Gye-Jun Lee<sup>1</sup>, Jeong-Tae Lee<sup>1</sup>, Yeon-Kyu Sonn\*, Hong-Bae Yun, and Myung-Sook Kim

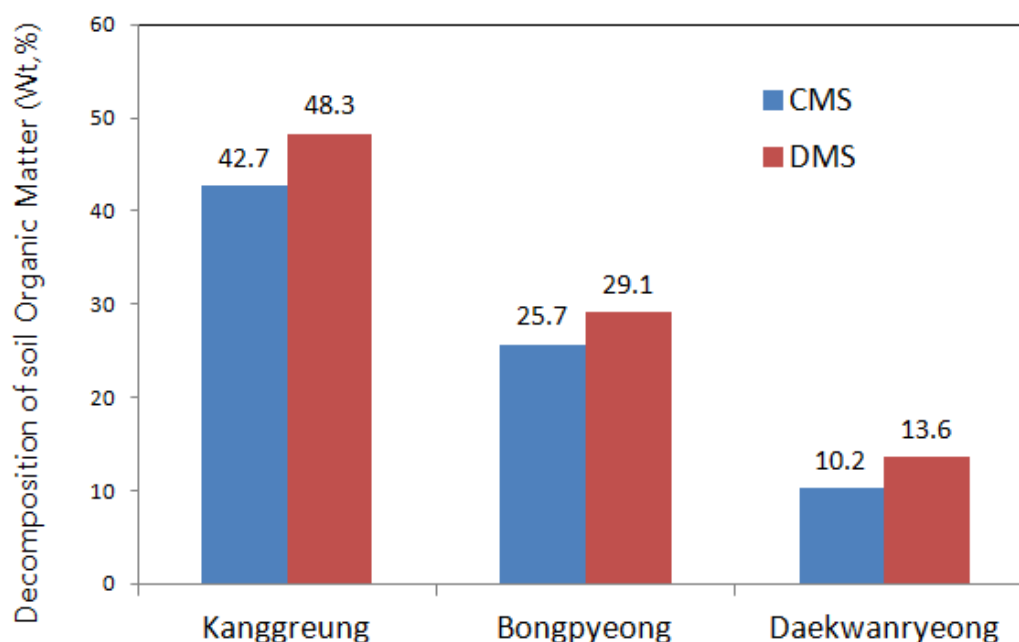
*National Academy of Agricultural Science, Suwon, Gyeonggi-do 441-750, South Korea*

<sup>1</sup>*National Institute of Highland Agriculture, Hoeng-gye, Doam, Pyeongchang, Gangwon 232-955, South Korea*

(Received: June 3 2013, Accepted: June 10 2013)

This study was conducted to investigate decomposition of livestock manure in soils cultivated with Chinese cabbage along an altitude gradient. The experiments were conducted in Kangreung (17 m above sea level), Bongpyeong (430 m above sea level), and Daekwanryeong (800 m above the sea level) in order to assess the decomposition rate and accumulations of livestock manures depending on different altitudes. During chinese cabbage cultivation, the decomposition ratios of organic matter derived form livestock manure expressed as % of the initial organic matter content were 42~48% for Kangreung, 26~29% for Bongpyeong and 10~14% for Daekwanryeong. Changes in air temperature with altitude might be a main factor affecting manure decomposition rates.

**Key words:** Livestock manure, Altitude, Chinese cabbage, Temperature, Soil organic matter, Decomposition



Comparison of soil organic matter contents in Kangreung (17 m above sea level), Bongpyeong (430 m above sea level), and Daekwanryeong (800 m above sea level) with cow manure-sawdust compost mix (CMS) and pig manure-sawdust compost mix (PMS) in lysimeter experiment.

\*Corresponding author : Phone: +82312900338, Fax: +82312900208, E-mail: sonnyk@korea.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ0052062007)”, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

우리나라에서 600m 이상 고령지의 경지 면적은 전국적으로 17,044 ha로, 대부분 경사지에 위치하며 주요 재배작물의 점유 면적은 무배추 28.8%, 과채류·양채류 22.5%, 감자 13.7%, 화훼, 약초, 산채류 12.6%, 옥수수 등 곡물류 22.4%이었다 (Cho, 1999). 이와 같은 작물은 작기가 짧아 7~10개월간 나지상태로 노출되기 때문에 강우기 토양침식에 취약하다. 특히 고령지 배추의 경우 재배 특성상 1년 1작이 대부분으로 재배기간이 55일 내외인데 배추가 재배되지 않는 10개월 내외 나지 상태로 장기간 방치되는 경우가 많다. 따라서 고령지 배추 재배지는 강우, 바람, 융설 등에 의한 침식으로 많은 양의 토양이 유실되어 유효 토심이 낮아지고 각종 유기물 및 양분이 용탈되어 지력이 감퇴되고 있다 (Cho, 1999). 그 결과 1970년대 유기물 함량 70~90 g kg<sup>-1</sup>, 토심 100~150 cm 이었던 고령지 토양이 현재는 유기물 20~30 g kg<sup>-1</sup>, 토심 10~60 cm로 퇴화하였으며, 표토의 잔돌 및 자갈의 함량이 10~50% (v/v)에 이른다 (Park, 2002).

고령지 농경지에서는 저하된 지력을 보전하기 위하여 많은 퇴비를 사용하고 있다. 그러나 고령지에서 주로 사용되고 있는 퇴비는 돈분, 계분, 우분 등의 축분 퇴비로 원료의 종류에 따라 퇴비의 특성이 다양하다. 최근에는 가축분뇨를 포함한 유기성폐기물의 퇴비화에 대한 연구노력은 상당히 많아 우리나라의 경우 벚짚의 간이부숙법 (Hwang et al., 1990), 우분의 유기질 비료화 연구(Lim and Shin, 1991; Lim et al., 1991) 등이 소개된 바 있고, 외국의 경우에도 Berkeley method 및 기타 방법들이 보고되었다 (Harada, 1981). 또한 정화처리 및 바이오가스 생산 등을 통한 자원화 연구가 많이 이루어지고 있다 (Lee and Kim 1999; Yang et al., 1999; Jung et al., 1998; Kwon and Kim, 1993; Bourque

et al., 1987). 그러나 대부분의 가축분 퇴비는 분해속도가 빨라 장기적인 토양의 물리적 개량보다 일회적인 양분 공급에 주된 효과가 있다. 따라서 지력이 낮은 고령지 농경지에서 다수확을 목적으로 할 경우 가축분 퇴비를 기준량보다 20~50% 과다 투입하는 경우가 빈번하다. 그러나 집중 강우에 따른 토양 유실이 발생할 경우 과다 투입된 퇴비로부터 많은 양분이 수계로 유출되는 특성을 보이는데, 심할 경우 고령지에서의 양분 유출이 일반 밭의 3~13배에 이르기도 한다 (Lee et al., 2002). 따라서 고령지 농경지의 지력 증진과 토양 및 수질 오염의 방지라는 두 가지 목표를 달성하기 위해서 고령지 농경지에서의 축분퇴비 사용을 위한 적정 기준을 설정할 필요가 있다.

축분 퇴비의 양분공급능을 결정하는 분해속도는 지온, pH, 토양 수분 함량 등 미생물의 활성도에 영향을 주는 다양한 인자에 영향을 받는다. 고령지는 평난지에 비해 평균 기온이 낮고, 강우량이 많기 때문에 축분 퇴비 분해 속도가 평난지와 다른 경향을 나타낼 수 있다. 또한 축분 퇴비의 분해속도는 축분 자체의 구성분에 따라 영향을 받기 때문에 축분 퇴비 종류별로 평가될 필요가 있다. 따라서 본 연구는 고령지에서 다비작물로 재배비율이 높은 고령지 배추를 대상으로 축분 퇴비의 적정 사용량을 확립하고자 평난지 (강릉), 준고령지 (평창 봉평), 고령지 (평창 대관령)에서 해발고도에 따른 축분퇴비의 집적과 분해양상을 평가하고자 하였다.

## Materials and Methods

시험장소는 기온차이를 고려하여 평난지 (강원 강릉시 송정동, 표고 17 m), 준고령지 (강원 평창군 봉평면 장평리, 표고 430 m)와 고령지 (강원 평창군 대관령면 횡계리, 표고 800 m)에서 실시하였다. 시험 전 토양의 이화학적성은 Table 1

**Table 1. Altitude, soil series, particle size distribution, and soil texture of experimental sites.**

Location	Altitude	Soil series	Particle size distribution			Texture (USDA)
			Sand	Silt	Clay	
	m		----- w/w, % -----			
Kangreung	17	Jungdong	70.1	19.9	10.0	Sandy loam
Bongpyeong	430	Subug	63.4	20.5	16.0	Sandy loam
Deakwanryeong	800	Duggog	38.1	37.9	24.0	Loam

**Table 2. Properties of cow manure-sawdust compost mix (CMS) and pig manure-sawdust compost mix (PMS) used in lysimeter experiment.**

Manure	Moisture	T-C	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C/N ratio	K	Ca	Mg	Na
CMS	54.3	33.0	2.4	1.37	13.8	3.29	6.66	4.96	1.21
PMS	55.0	34.9	2.6	1.32	13.4	2.49	14.15	3.53	1.11

에 제시된 바와 같이 토성은 양토에서 사양토로 점토의 함량이 10~24%에 분포하였다.

시험에 사용된 축분 퇴비는 시중에 유통 중인 축분 퇴비 중 톱밥이 혼용된 우분 톱밥퇴비 (cow manure-sawdust compost mix; CMS)와 돈분 톱밥퇴비 (pig manure-sawdust compost mix; PMS)를 구입하여 사용하였다. 축분 톱밥퇴비의 화학성은 Table 2와 같이 C/N율은 13.8이하로 낮은 편이며, 질소와 인산함량은 각각 2.4~2.6%, 1.32~1.37%이었다.

고령지배추는 CR 강타 (품종)를 2009년 8월 20에 재식거리 50 cm × 30 cm로 정식하여 2009년 10월 16일에 수확하였으며, 시험구당 면적은 1.92 m<sup>2</sup> (W 1.2 m × L 1.6 m × H 0.75 m)로 시험구는 단구제로 배치하였다. 해발 고도와 시비방법이 배추의 생육과 유기물 함량 등 토양 특성에 미치는 영향을 구명하고자 하였으며 고도에 따라 평산지, 준고령지, 고령지의 3지역, 시비방법에 따라 무비구, 화학비료구(표준시비량), 우분퇴비+화학비료구, 돈분퇴비+화학비료구의 4 처리구를 비교하였다. 양분별 시비량은 농촌진흥청의 배추 표준시비량에 준하였으며 (NIASI, 2006), 퇴비처리구는 ha 당 우분 톱밥퇴비와 돈분 톱밥퇴비 1.5 ton을 배추 정식 2주 전인 2009년 8월 6일에 화학비료와 함께 처리하였다. 화학비료와 축분 톱밥퇴비는 표토 15 cm에 잘 섞어 처리하였다.

일반적인 경종방법은 농진청 표준재배법에 준하였으며 배추 생육 및 수량조사는 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준 (RDA, 2003)에 따라 실시하였고, 토양과 식물체 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원의 토양 및 식물체분석법에 준하였다. 기온 및 토양수분 함량은 일평균 5°C 이상인 기간만을 대상으로 2009년 3월 1일부터 11월 10일까지 각 포장별로 NPK 시험구에 태양광을 전원으로 활용하는 자동기상관측장비 (Automatic Weather System)를 설치하여 기온은 지상 1.0 m에서, 토양수분은 지표 10 cm 깊이에서 측정하였다.

재배 전 토양시료는 화학비료 및 축분 톱밥퇴비 사용 직후 표토 0~15 cm에서 채취하였으며, 수확기에는 표토의 유실을 고려하여 표토 0~12 cm를 채취하였다. 식물체 시료는 60°C에서 5일간 건조한 후 식물체 건물 중을 조사하였으며 그 후 분쇄 하여 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로 분해한 시료를 식물체 분석에 사용하였다. 토양의 포장용수량은 실험실에서 pressure plate를 이용하여 1/30 Mpa의 압력에서 함유한 수분함량을 측정하였고, 토양 pH는 풍건토양과 증류수를 1:5의 비율로 1시간 정치 후 유리전극법, 총질소는 Kjeldahl 증류법, 유기물함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 교환성 양이온은 1N-NH<sub>4</sub>OAc로 침출하여 고주파 유도 결합 플라즈마 (inductively coupled plasma, ICP) (CINTRA 6, GBC SCIENTIFIC, AU)로 측정 하였다. 식물체 분석에서 총질소 및 탄소는 C/N분석기로, 인산은 Vanadate법, K, Ca, Mg, Na는 ICP로 측정 하였다.

## Results and Discussion

조사기간인 2009년 중의 해발고도별 강우량 및 평균기온은 평산지(강릉, 표고 20 m) 1,402 mm, 20.7°C, 준고령지(평창 봉평, 430 m) 1,703 mm, 14.5°C, 고령지(평창 대관령, 800 m) 1,717 mm, 11.6°C이었으며 (Fig. 1), 표고별 온도 차이를 살펴보면 2009년 7월 25일 고령지 15.1°C, 준고령지 18.4°C, 평산지 19.4°C로 7월 하순에서 8월 초순까지 여름철에는 고령지의 기온이 평산지와 준고령지보다 뚜렷하게 낮았으며, 2009년 10월 20일 고령지 5.6°C, 준고령지 6.7°C, 평산지 13.3°C로 봄과 가을에는 고령지와 준고령지 기온이 유사한 경향을 보였다. 또한 무저 라이시미터를 설치한 NPK 시험구에서 토양 용적수분함량(%v/v)은 고령지 23.3%, 준고령지 25.6%, 평산지 23.3%로 2009년 7월 상순까지는 준고령지 > 고령지 · 평산지 순이었으나 그 이후에는 3개 지역에서 유사한 수준으로 지역별 강우량의 영향이 큰 것으로 나타났다.

표고별 축분 톱밥퇴비 사용 후의 토양화학성 변화는 Table 3과 같았다. 토양의 시험 후 화학성 변화를 살펴보면 pH, T-N, 치환성 K는 큰 차이를 보이지 않았으나 유기물(OM)과 유효 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 치환성 K은 감소하였다. 치환성 Ca는 NPK 처리구에서는 감소한 반면 NPK+축분 톱밥퇴비처리구에서는 증가하였는데, 이는 축분 톱밥퇴비 중에 함유된 Ca성분이 축분 톱밥퇴비의 분해와 더불어 유효성분이 증가한 결과로 생각된다.

토양 유기물은 작물에 대한 중요한 질소원으로 토양의 생산력을 좌우하는 인자로 잘 알려져 있다. 표고별로 토양 유기물의 분해율은 NPK 처리구에서 고령지 5.5%, 준고령지 19.0%, 평산지 35.7%이었다. NPK+우분 톱밥퇴비 처리구에서 고령지 10.2%, 준고령지 25.7%, 평산지 42.7%이었으며, NPK+돈분 톱밥퇴비 처리구에서 고령지 13.6%, 준고령지 29.1%, 평산지 48.3%로 돈분 톱밥퇴비가 우분 톱밥퇴비보다 유기물 분해율이 높았다. 축분 톱밥퇴비 사용에 따른 표고별 배추수량은 NPK 처리구에서 평산지 > 고령지 · 준고령지 순으로 기온이 높은 평산지에서 수량이 높았으나 축분 톱밥 퇴비의 처리구에서는 고령지가 준고령지나 평산지보다 높았으며, 축분 톱밥퇴비 종류간 차이는 없었다. 따라서 고령지와 같이 축분퇴비의 분해속도가 늦은 지역에서는 퇴비 사용량을 줄이는 것이 필요한 것으로 생각된다.

토양 유기물의 분해에 영향을 미치는 주요 요인은 토양 pH, 토양수분, 지온으로 대부분의 미생물은 중성상태를 좋아하므로 토양이 심하게 산성화 또는 알칼리화되었을 때 유기물의 분해속도는 대단히 느려지며, 토양 공극의 약 60%가 물로 채워져 있을 때 산소의 유통이 원활할 뿐만 아니라 미생물의 활성에 필요한 수분도 적절하게 공급할 수 있어 분해가 빨리 일어난다. 또한 미생물의 분해활동에 적절한

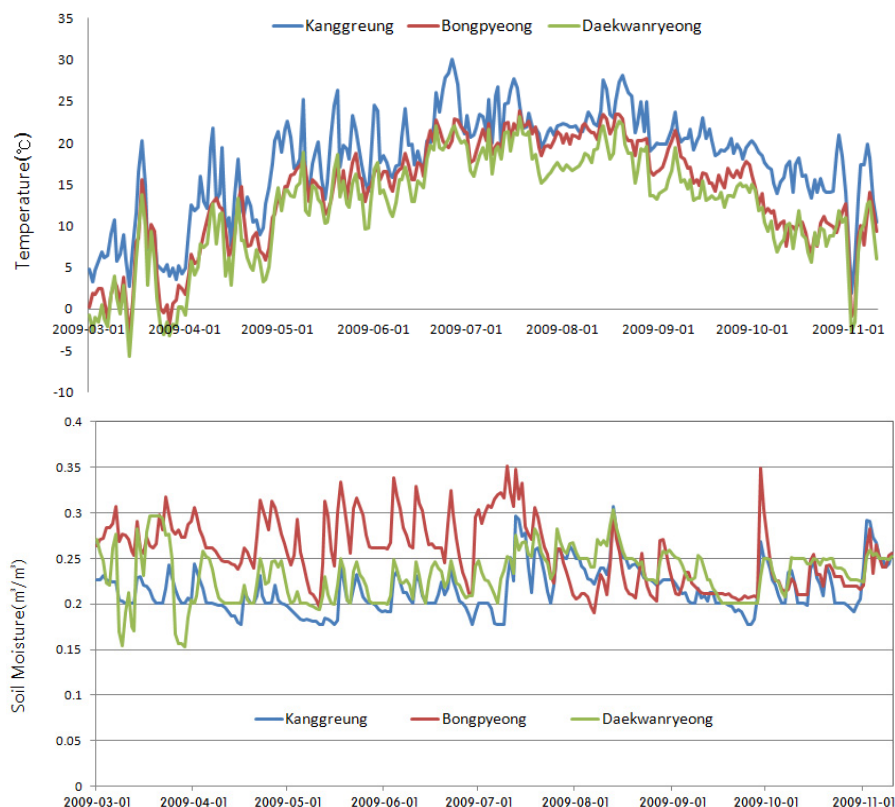


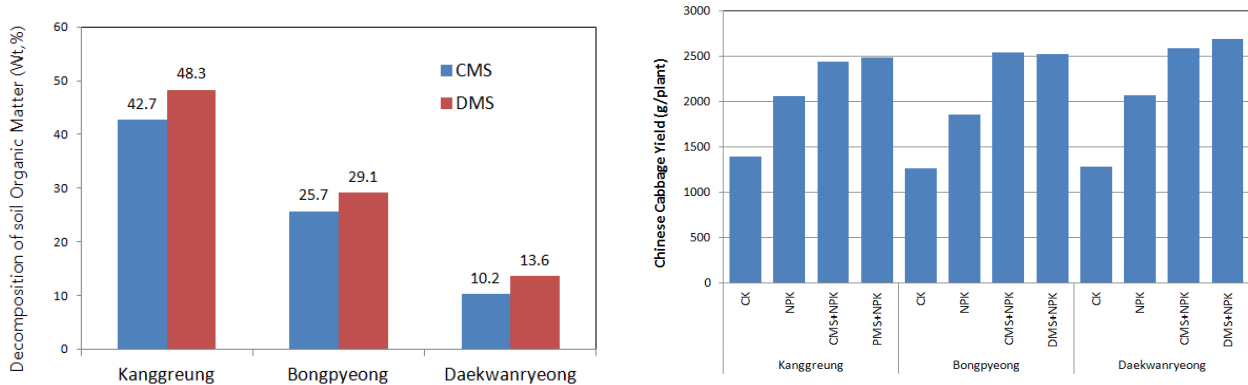
Fig. 1. Changes in air temperature and volumetric soil water content in Kanggreung (17 m above sea level), Bongpyeong (430 m above sea level), and Daekwanryeong (800 m above sea level).

Table 3. Soil chemical properties on the day with fertilizer and manure application and on the day with chinese cabbage harvest in Kanggreung (17 m above sea level), Bongpyeong (430 m above sea level), and Daekwanryeong (800 m above sea level).

Location	Time	Treatment	pH	O.M.	T-N	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exchangeable cation			
							K	Ca	Mg	Na
			(1:5)	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			
Kanggreung	Application	CK	5.9	36.8	3.1	471	0.20	4.87	1.62	0.06
		NPK	5.9	36.8	3.1	484	0.28	5.06	1.58	0.05
		NPK+CMS	5.6	38.6	3.4	544	0.39	4.90	1.65	0.05
		NPK+PMS	5.8	49.4	3.3	541	0.39	4.37	1.37	0.06
	Harvest	CK	6.0	24.1	3.1	193	0.46	6.83	1.13	0.02
		NPK	5.6	22.1	3.1	427	0.40	4.74	0.85	0.01
		NPK+CMS	5.7	22.1	3.2	399	0.44	5.50	1.03	0.02
		NPK+PMS	5.6	25.5	3.2	466	0.51	5.36	0.96	0.05
Bongpyeong	Application	CK	6.2	14.0	0.3	386	0.42	5.21	1.09	0.04
		NPK	6.3	12.6	0.38	335	0.72	4.03	0.72	0.04
		NPK+CMS	6.2	20.6	0.3	419	0.73	3.93	0.84	0.11
		NPK+PMS	5.7	16.2	0.26	430	0.44	2.39	1.05	0.02
	Harvest	CK	6.3	10.6	0.28	330	0.7	3.03	0.92	0.03
		NPK	6.1	10.2	0.33	312	0.9	3.78	0.82	0.03
		NPK+CMS	6.2	15.3	0.28	343	0.74	3.39	0.95	0.02
		NPK+PMS	5.7	11.5	0.3	446	0.42	3.21	1	0.04
Daekwanryeong	Application	CK	5.7	26.4	0.37	38	0.57	1.68	0.9	0.03
		NPK	5	26.4	0.4	169	1.31	1.96	0.97	0.05
		NPK+CMS	5	29.2	0.39	181	1.57	2.01	1.12	0.06
		NPK+PMS	5.1	28.5	0.4	126	1.1	1.88	0.9	0.06
	Harvest	CK	5.6	10.6	0.3	49	0.73	2.93	0.84	0.04
		NPK	5.6	15.5	0.32	166	1.51	2.36	0.96	0.05
		NPK+CMS	5.4	26.4	0.37	138	1.57	2.68	0.9	0.03
		NPK+PMS	5.2	24.6	0.3	119	0.83	2.83	0.84	0.05

**Table 4.** Calculated soil carbon half-life ( $t_{1/2}$ ) using the decomposition model of Miller (1973) in Kangreung (17 m above sea level), Bongpyeong (430 m above sea level), and Deakwanryeong (800 m above sea level).

Area	Soil series	Field capacity	Temp	Average	Calculated carbon
				water content	
		v/v, %	°C	v/v, %	$t_{1/2}$
KangRung	Jungdong	23.6	14.0	21.7	172
BongPyeong	Subug	23.9	10.2	25.6	250
DaeKyunRung	Deoggog	22.2	7.2	23.3	387

**Fig. 2.** Comparison of soil organic matter contents and chinese cabbage yields with fertilization practices in Kangreung (17 m above sea level), Bongpyeong (430 m above sea level), and Deakwanryeong (800 m above sea level).

온도는 25~35°C이므로 온도가 극히 높거나 낮은 곳에서 그 밀도가 현저히 감소되어 유기물의 분해속도도 늦어진다.

Miller (1974) 등은 가축사육장에서 발생한 유기물이 토양에 투입된 후 시간이 지남에 따라 변환되는 과정이 1차반응식 적용이 가능하여 많은 양의 유기물이 동시에 들어가지도 토양에 있는 효소가 충분한 경우 유기물의 분해는 유기물의 농도에 비례한다고 하였다.

토양 중 유기물 분해속도와 관련하여 온도 27°C, 60%의 용적수분함량(포장용수량) 조건을 최적의 조건으로 산정한 실험적 반응속도 (반감기)는 식 (1)과 같이 수학적 모델로 표현될 수 있으며,

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{R \times (M_2/M_1) \times 0.933^{-[(Annual\ Heat\ Units/365) - (T_2 - T_1)]}} \quad (1)$$

여기서  $R = T_2$  온도에서 반응속도 상수,  $T_2$ 는 최적온도 (27°C),  $T_1$ 는 연평균기온 (°C),  $M_1$  = 유효수분의 60%,  $M_2$  = 토양의 실제수분을 의미한다.

본 연구에서 해발고도별 축분톱밥 퇴비의 유기물 분해를 추정하기 위하여 유기물 분해량을 식 (1)을 통하여 예측된 유기물의 반감기는 Table 4와 같았다.

본 시험의 경우 축분톱밥퇴비를 연간 1.5 Mg ha<sup>-1</sup> 사용할 경우 토양에 축적되는 양은 고령지 86~90%, 준고령지 71

~74%, 평년지 52~57% 정도로 조사되었으며, Gilmour 등 (1977)에 의하면 위 식을 이용한 유기물 반감기 추정에 있어서 기온이 5°C이하일 경우와 쉽게 분해되지 않는 탄소 분획물에서는 적용하기 어려운 것으로 나타났다.

한편, Ajwa and Tabatabai (1994)는 온도 20°C, 포장용수량 수분조건에서 반응시킨 결과 토양에서 50% 정도 분해되는 기간이 작물 잔유물은 39~54일, 축분 37~169일, 축분오니는 39~330 일이 소요된다고 하였다. 또한, 우리나라에서 식양질 논토양의 경우 21년간 3요소비료와 함께 벧짚퇴비를 매년 10 Mg ha<sup>-1</sup>을 사용하면 토양유기물 함량의 증가량은 5.6 g kg<sup>-1</sup> 이었다고 보고한 바 있으며(Jeong et al., 2001), 논에서 벧 1작기 동안에 약 750 g kg<sup>-1</sup> 부식이 소모되고, 사용된 퇴비 중 10% 정도가 부식으로 되는 것으로 알려져 있다 (Cho et al., 2002). 또한 Brandy (1990)는 퇴비 등 유기물질이 토양에 가해지면 대부분 CO<sub>2</sub>로 소모되고, 10~30% 정도가 부식질로 남는다고 하였다.

이상의 결과를 토양 pH, 기온, 토양수분측정 결과를 중심으로 살펴보면, 축분톱밥퇴비 종류간 토양 pH 및 수분은 차이가 없었으므로 표고별 토양유기물 (SOM)의 집적량에 상이한 것은 표고별로 배추 재배기의 기온차이에 기인하는 것으로 평가되었다. 향후 축분톱밥퇴비 사용은 지역별 기상 및 토양조건별로 유기물함량의 변화와 목표하는 작물수량을 고려하여 축분톱밥퇴비의 사용량을 결정할 필요가 있다고 하겠다.

## References

- Ajwa, H.A. and M.A. Tabatabai. 1994. Decomposition of different organic materials in soils. *Biology and Fertility of Soils*. 18(Issue 3):175-182.
- Bourque, D., J.G. Bisailon, R. Beaudet, M. Sylvestre, M. Ishaque, and A. Morin. 1987. A microbiological degradation of malodorous substances of swine waste under aerobic condition. *Appl. Environ. Microbiol.* 53:137-141.
- Brandy, N.C. 1990. The nature and properties of soil(10th ed.), p.286-289. Macmillan Pub. Co. NY, USA.
- Cho, B.O. 1999. Characterization of soil fertility and management practices of alpine soils under vegetable cultivation. Ph. D. Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea (in Korean).
- Cho, S.J., C.S. Park, and D. J. Eom. 2002. *Soil science*(4th ed.), p148-149. Hyannngmoonsa, Seoul, Korea (in Korean).
- Gilmour, C.M., F.E. Broadbent, and S.M. Beck. 1977. Recycling of Carbon and Nitrogen through Land Disposal of Various Wastes. P. 172-194. In Elliott, L.F. et al. *Soils for Management of Organic Wastes and Waste Waters*. Soil Sci. Soc. of Am., Madison, WI, USA.
- Harada Y., M. Tadaki. and T. Izawa. 1981. Maturing process of city refuse compost during piling. *Soil Sci. Plant Nutr.* 27(3):357-364.
- Hwang, K.N., B.K. Kang, W.C. Kim, and S.J. Cho. 1990. Effects of Long-term application of Compost on the behavior of fertilizer Nitrogen in paddy soils. *Research Report 32* : 21-28. Rural Development Administration, Suwon, Korea (in Korean).
- 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. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34:129-133.
- Jung, K.Y., N. J. Cho, and Y.G. Jeong. 1998. Comparison of liquid composting efficiency using liquid pig manure in different condition. *Korean J. Environ. Agric.* 17:301-306.
- Kwon, S.C. and J.S. Kim. 1993. microbial conversion of organic wasres for production of biogas and algal biomass. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 8:438-445.
- Lee, C.S., B.L. Huh, Y.S. Song, and H.K. Kwak. 1994. Revised rates of NPK fertilizers based on soil testing for vegetable crops. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 27:85-91.
- Lee, G.K. and J. S. Kim. 1999. Treating swine wastewater by anaerobic bioreactors. *Korean J. Environ. Agric.* 18:54-60.
- Lee, C.S., G.J. Lee, K.Y. Shin, J. H. Ahn, J. T. Lee, and H. K. Hur. 2002. Effect of application added phosphorus and potassium for potato and Chinese cabbage in mounded highland, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35:372-380.
- Lim, D.K. and J.S. Shin. 1991. Development of Organic Fertilizer based on Cow dung: 1. Studies on Fermentation condition. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 24:130-136.
- Lim, D.K., Y.H. Moon, J.S. Shin, and K.D. Woo. 1991. Development of Organic Fertilizer based on the Cow Dung: 2. Studies on Rapid Fermentation, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 24:192-199.
- Miller, R.H. 1974. Soil microbiological aspects of recycling sewage sludges and waste effluents on land. p. 79-90. in *proc. of Joint Conf. on Recycling Munnicipal Sludges and Effluents on Land*. Champaign, III. Nat. Assoc. of State Univ. and Land-Grant Coll., Washington, D. C.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2006. *Fertilizer Application Recommendation for Crops*. p. 87-130. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea (in Korean).
- Park, C.S. 2002. Soil management practices to reduce water erosion from the sloped farmland in highland. Ph. D. Thesis, Kangwon national university, Chuncheon, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2003. *Investigation and standard for agricultural experiment*. p. 323-334. RDA, Suwon, Korea (in Korean).
- Yang, J.E., C.J. Park, S.H. Yang, and J.J. Kim. 1999. Changes in characteristics of bark and piggery manure by-product fertilizers during the composting. *Korean J. Environ. Agric.* 18:372-377.
- Yun, B.K., P.K. Jung, S.J. Oh, S.K. Kim, and I.S. Ryu. 1996. Effects of Compost Application on Soil Loss and Physico-Chemical Properties in Lysimeters. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29:336-341.