

## 밭 토양에서 유기물 자원의 시용이 작물 수량 및 토양 물리성에 미치는 영향

한경화, 정강호, 조희래, 이협성, 옥정훈, 장용선, 김기선, 서영호<sup>\*†</sup>  
농촌진흥청 국립농업과학원, 강원도농업기술원<sup>\*</sup>

### Effect of Crop Yield and Soil Physical Properties to Application of Organic Resources in Upland

Kyunghwa Han, Kangho Jung, Heerae Cho, Hyubsung Lee,  
Junghun Ok, Yongseon Zhang, Gisun Kim, Youngho Seo<sup>\*†</sup>

National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration  
Gangwon Agricultural Research & Extension Services<sup>\*</sup>

(Received: Oct. 11, 2017 / Revised: Nov. 21, 2017 / Accepted: Nov. 22, 2017)

---

**ABSTRACT:** Application of organic resources to agricultural land can increase crop yield by improving soil characteristics. The objective of this study was to evaluate effect of crop yield and soil physical properties including aggregate stability to application of organic resources in upland. The soybean was cultivated in a sandy loam field and a clay loam field located at Suwon and a sandy loam field located at Pyeongchang. The organic resources used in this study were rice straw compost (RSC), composted pig manure with sawdust (CPIG), composted poultry manure with sawdust (CPM), and cocopeat applied before sowing crop. Application rate of organic resources was determined based on carbon content and water content. The inorganic fertilizers were applied based on soil testing. In addition, the decomposition of RSC, CPIG, and cocopeat was characterized by isothermal incubation with sandy loam soil. The decomposition rate was highest for RSC followed by CPIG and cocopeat. Organic resource application increased yield of soybean, which effect was greater in clay loam than in sandy loam. In addition, increase in gas phase proportion by organic resource application was distinct in clay loam soil compared with sandy loam soil. In terms of aggregate stability, increasing effect was more obvious in sandy loam soils than in a clay loam soil. The highest yield was observed in RSC treatment plots for all the fields. Improvement of soybean yield and soil physical characteristics by cocopeat was not as much as that of the other organic resources. The results implied that RSC could be recommended for promoting aggregate stability and crop yield in upland cultivation.

**Keywords:** Animal manure compost, Cocopeat, Organic resources, Rice straw compost, Soil physical characteristics

---

**초 록:** 농경지에 유기물 자원을 시용하면 지력이 높아져서 작물의 수량이 높아진다. 본 연구의 목적은 유기물 자원을 밭 토양에 시용하였을 때 작물 수량 및 토양 물리성에 미치는 영향을 유기물 자원별로 비교하고자 하였다. 콩을 평야지인 수원 및 사양토와 포장에서 재배하였으며, 온도 영향을 살펴보기 위하여 고랭지

---

† Corresponding author(e-mail : [seoysh@korea.kr](mailto:seoysh@korea.kr))

평창의 사양토 포장에서도 수행하였다. 시험에 쓰인 유기물 자원은 볏짚퇴비, 돈분퇴비, 계분퇴비, 코코피트였으며, 콩 파종 전에 탄소 기준으로 동등한 수준으로 시용하였다. 무기질비료의 시용량은 토양검정환 분석치를 고려하여 결정하였다. 유기물 자원의 분해 특성을 살펴보기 위하여 항온배양실험을 실내에서 사양토를 대상으로 수행하였다. 분해 속도는 볏짚퇴비가 가장 높았으며, 돈분퇴비, 코코피트 순이었다. 유기물 자원의 시용에 따른 콩 수량의 증가 효과는 사양토에 비해서 식양토에서 높았다. 기상 비율의 증가 효과도 식양토에서 뚜렷하였다. 반면에 토양 입단 안정성의 증가 효과는 사양토에서 비교적 높았다. 볏짚퇴비가 모든 토양에서 콩 수량의 증가 효과가 가장 높았다. 코코피트의 콩 수량 증가 및 토양 물리성 개선 효과는 다른 유기물 자원에 비해서 높지 않았다. 따라서 발작물 수량의 증대 및 토양 물리성의 개선을 위해서는 축분퇴비 등 다른 유기물 자원에 비해서 볏짚퇴비가 적합하였다.

**주제어:** 유기물 자원, 볏짚퇴비, 축분퇴비, 코코피트, 토양 물리성

## 1. 서 론

전통적으로 많이 쓰여 온 유기물 자원인 퇴비와 볏짚 등을 농경지에 시용하면 토양의 용적밀도와 경도가 낮아지고 내수성 입단 및 통기성이 높아져서 토양 물리성이 개선된다<sup>1)4)</sup>. 채종 유박, 맥주 옌니 등 산업 활동에서 나오는 부산물도 토양 물리성을 개선하는 효과가 있는 것으로 보고되었다<sup>2)3)</sup>. 그러나 이러한 유기물 자원의 토양 개선 효과는 토양 특성과 토지이용 형태에 따라 달라질 수 있다<sup>1)3)5)</sup>. 논보다 밭에서 물리성에 미치는 퇴비의 효과가 뚜렷하였으며<sup>1)</sup>, 유기물의 시용효과는 토성에 따라 달랐다<sup>2)5)</sup>.

유기물 자원의 분해에 영향을 미치는 요인들은 크게 두 종류로 나눌 수 있는데, 토양 환경 조건과 미생물의 먹이인 유기물의 특성이다<sup>6)</sup>. 유기물 자원의 무기화 및 분해를 빠르게 하는 최적 환경 조건은 중성 산도, 적당한 토양 수분, 양호한 통기성 (공극 포화율 60%), 적당한 온도 (25-30℃) 등이다. 미생물 먹이인 유기물 자원의 특성은 탄질(C/N)비, 리그닌과 폴리페놀 함량, 물리적 상태 등이 있다<sup>6)</sup>. 유기물 자원의 소수성 (발수성)은 수분 흡수를 느리게 하여 수용성 미생물 효소에 따른 분해를 더디게 한다. 또한 유기물 자원이 토양 안에 있는지 토양 위에 있는지의 존재 위치는 분해 속도에 영향을 주는 물리적 요인이다.

축분퇴비 등 유기물 자원을 밭에 시용하였을 때 토양 화학성 및 생물성의 변화를 살펴본 연구는

많이 있어왔으나<sup>7)8)</sup>, 용적밀도, 공극률, 기상율, 내수성 입단 등 토양 물리성의 변화를 토성별 및 지역별로 살펴본 연구는 그리 많지 않다. 본 연구에서는 축분퇴비 등 유기물 자원을 밭에 시용하였을 때 유기물 자원 종류에 따른 토양 물리성과 작물 수량에 미치는 영향을 포장 실험을 통하여 살펴보았으며, 유기물 자원의 분해 특성을 구명하고자 실내 실험을 수행하여 그 결과를 보고하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시 재료 (공시 토양 및 유기물 자원)

밭에서 유기물 자원 (볏짚퇴비, 축분퇴비, 코코피트)에 대해 작물 수량과 토양 물리성의 개선 효과를 구명하고자, 경기도 수원시 소재 구 국립농업과학원 시험포장(경도 126°59' 35" , 위도 36° 16' 25" )과 강원도 평창군 소재 국립식량과학원 고령지 농업연구센터 시험포장(경도 128°44' 05" , 위도 37° 40' 38" ) 에서 포장시험을 2년간 수행하였다. 유기물 자원의 분해 특성을 살펴보기 위하여 실내에서 항온 배양 실험을 하였다.

포장 실험은 수원의 사양토 및 식양토 포장과 평창 사양토 포장에서 볏짚퇴비, 돈분퇴비, 계분퇴비, 코코피트 등 유기물 자원 4종을 대상으로 수행하였다. 볏짚퇴비는 직접 제조하였으며, 축분퇴비는 시판되는 것을 구입하여 사용하였다. 연평균기온의 30년 평년값이 수원 12.0℃에 비해 고령지는

Table 1. Physicochemical characteristics of the soils before the study

Region	Texture	pH (1:5)	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Exch. cations (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		
					K	Ca	Mg
Suwon	Sandy Loam	5.0	18	715	0.47	3.1	0.6
Suwon	Clay Loam	5.8	21	143	0.14	6.7	2.4
Pyeongchang	Sandy Loam	6.2	9	110	0.13	4.9	0.9

Table 2. The content (g kg<sup>-1</sup>) of organic resources used in the study

Organic resources <sup>1)</sup>	C	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
RSC	239	18.8	2.8	30.7	4.7	6.2	12.8
CPIG	398	14.8	12.7	12.4	2.8	13.1	13.4
CPM	348	27.8	17.5	23.0	8.5	14.6	43.0
Cocopeat	412	4.9	0.2	7.2	2.6	3.3	2.8

<sup>1)</sup>RSC, CPIG, and CPM indicate rice straw compost, composted pig manure with sawdust, and composted poultry manure with sawdust, respectively.

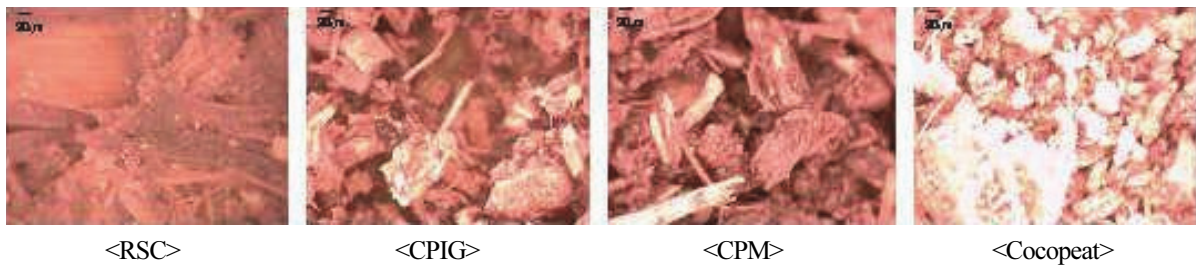


Fig. 1. The microphotograph (×50) of organic resources used in the study. RSC, CPIG, and CPM denote rice straw compost, composted pig manure with sawdust, and composted poultry manure with sawdust, respectively.

6.6°C로 5°C 이상의 차이가 있었다. 시험하기 전의 토양 물리화학적 특성과 시험에 쓰인 유기물 자원의 성분 함량을 각각 Table 1과 2에 나타내었다.

본 실험에 사용한 유기물 자원의 확대 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 볏짚퇴비와는 달리 돈분퇴비와 계분퇴비는 퇴비의 영향으로 표면이 거칠었으며, 코코피트는 상대적으로 구형에 가까웠다.

## 2.2. 유기물 자원의 시용에 따른 토양 물리성 개선 효과

### 2.2.1. 항온 배양 실험

항온 배양 실험은 수원의 사양토를 대상으로 볏짚퇴비, 돈분퇴비, 코코피트를 12 Mg ha<sup>-1</sup>과 24 Mg ha<sup>-1</sup>의 2수준으로 처리하였으며 무처리를 대조구로

두었다. 항온배양 셀인 1L 광구병 위에 네오프렌을 씌워 공기를 차단하였다. 포장에서 채취한 토양을 4 mm로 체별하였으며, 수분함량은 포장용수량 (33 kPa)에 해당하는 25%로, 용적밀도는 1.1 Mg m<sup>-3</sup>로 맞추고 24시간 안정화하였다. 검정시비량인 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 35-0-35 kg ha<sup>-1</sup>를 요소와 염화칼리로 준 다음, 25°C에서 15일 동안 이산화탄소 배출을 CO<sub>2</sub> 센서 (Testo 535, USA)로 측정하여 분해 특성을 비교하였다.

### 2.2.2. 포장 실험

유기물 자원의 수분함량은 무게기준으로 볏짚퇴비가 76.7%, 돈분퇴비가 64.3%, 계분퇴비가 48.7%, 코코피트가 56.5%였으며, 이를 반영하여 사용량을 결정하였다. 탄소 기준으로 보았을 때, 볏

짚퇴비 12 Mg ha<sup>-1</sup>와 동등한 수준은 돈분퇴비, 계분퇴비, 코코피트가 각각 5, 4, 4 Mg ha<sup>-1</sup>로, 볏짚퇴비에 비해 1/2 이하 수준이었다.

유기물 자원은 콩을 파종하기 일주일 전에 사용하였으며, 사용량은 볏짚퇴비와 동등한 탄소량에 해당하는 양이었다. 화학비료의 사용량은 토양을 분석하여 이를 바탕으로 결정하였다. 60×20cm의 재식밀도로 콩을 점파하였다.

콩의 수량을 측정하여 처리별로 비교하였고, 토양 물리성인 용적밀도, 토양3상, 공극률, 내수성 입단과 유기물 함량을 토양물리성 조사방법 및 분석법<sup>9)</sup>과 토양화학 분석법<sup>10)</sup>에 따라 측정하여 비교하였다. 용적밀도와 3상, 공극률은 2인치 코어로 토양을 채취하여 정량하였다. 내수성 입단은 습식사별법으로 향온식 수조 (Daiki, Japan)에서 분당 30회 상하 30분 진탕한 다음 모래와 점토를 분리하고 건조 평량하여 분석하였다. 유기물 함량은 Tyurin법으로 측정하였다. 통계 분석은 SAS 프로그램(ver. 9.2, SAS, Cary, NC)을 이용하였으며, Duncan 다중검정 분석으

로 5% 수준에서 통계적 유의성을 검토하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 유기물 자원의 분해 특성 (향온 배양 실험)

환경 조건을 일정하게 조절한 향온 배양 실험에서는 유기물 자원의 특성에 따라 분해 속도가 달라진다. 유기물 자원을 처리하였을 때 호흡률은 볏짚퇴비>돈분퇴비>코코피트≥무처리 순이었다(Fig. 2). 유기물 자원의 C/N비를 보면, 볏짚퇴비는 13이고, 돈분퇴비는 27, 코코피트는 84(Table 2)이다. 즉, C/N비는 호흡률과 반비례하였으며, C/N비가 낮을수록 토양 미생물에 의한 분해가 빨리 진행되었음을 보여준다<sup>11)</sup>. C/N비가 약 25를 넘는 유기물 자원을 토양에 사용하면, C/N비가 8 정도인 토양 미생물은 질소 함량의 약 8배 정도의 탄소만을 동화할

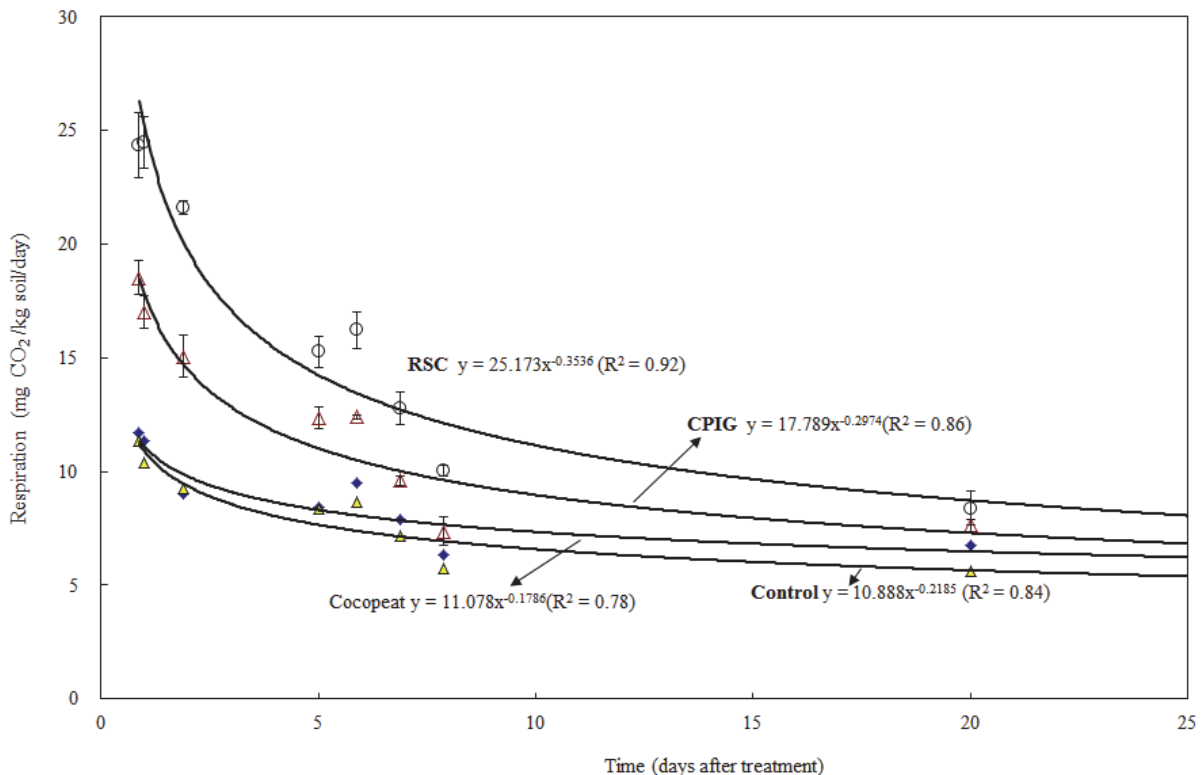


Fig. 2. The effect of different organic material application on respiration rate. RSC and CPIG denote rice straw compost and composted pig manure with sawdust, respectively. Error bars indicate  $\pm 1$  standard deviation.

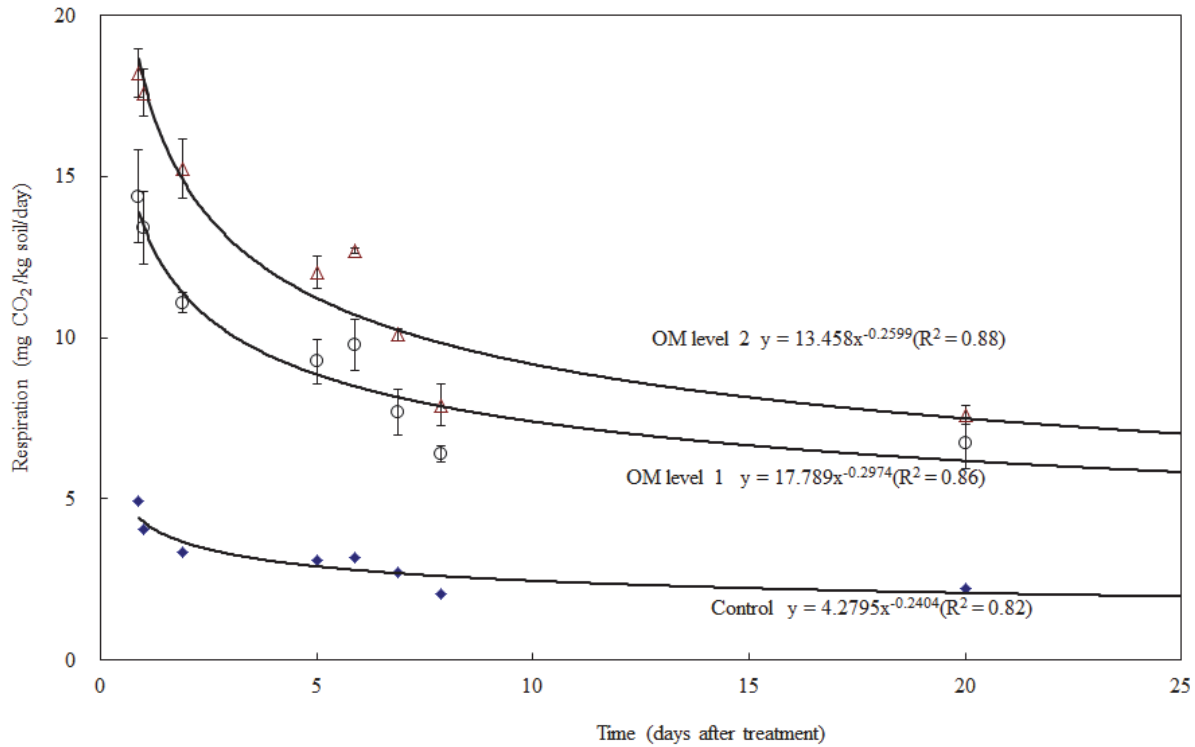


Fig. 3. The effect of organic material application on respiration rate as affected by different levels of application. Error bars indicate  $\pm 1$  standard deviation.

수 있으므로 이를 반영하여 호흡률이 낮다<sup>6)</sup>. 이후 토양 미생물의 사멸에 따른 질소 방출이 일어난 다음에 유기물 자원의 분해가 추가적으로 이루어지므로, 유기물 자원의 분해 속도는 C/N비가 낮은 유기물 자원에 비해서 높다<sup>6)</sup>.

유기물 자원의 처리 수준에 따라서는 24 Mg ha<sup>-1</sup>로 처리했을 때가 12 Mg ha<sup>-1</sup>보다 호흡률이 높았다 (Fig. 3). 토양 미생물의 먹이인 유기물이 많을수록 미생물의 활성이 높음을 알 수 있다.

### 3.2. 토성에 따른 유기물 시용효과

유기물 자원의 시용에 따른 콩 수량의 증가 효과는 벧짚퇴비 (RSC)가 가장 높았으며, 사양토에 비해서 식양토에서 증수 효과가 더 뚜렷하였다 (Tables 3-4). 토양 용적밀도는 사양토와 식양토 모두 벧짚퇴비에서 가장 낮았으며, 공극률은 벧짚퇴비가 가장 높았다. 토양3상 가운데 기상의 비율도 벧짚퇴비 처리구가 가장 높았으며, 유기물 자원의 시용에 따른 기상율의 증가는 사양토에서보다 식양토에서 뚜렷

하였다. 콩 수량은 용적밀도와 반비례하며, 기상율과는 비례한다<sup>2)</sup>. 또한 콩은 토양의 과잉 수분에 따른 습해를 받기 쉬우며, 습해 기간이 길어질수록 지상부와 지하부의 생체량이 낮아진다<sup>12)</sup>. 토양 구조가 발달하면 공극률과 기상율이 높아지게 되므로, 벧짚퇴비가 다른 유기물 자원에 비해서 토양 구조를 개선하는 효과가 크다는 것을 알 수 있다. 코코피트는 콩 수량의 증가 및 토양 물리성의 개선에 있어서 다른 유기물 자원에 비해서 효과가 높지 않았다. 항온 배양실험에서 벧짚퇴비의 호흡률이 가장 높았고 코코피트가 가장 낮았는데, 유기물 자원의 분해 속도가 토양 물리성의 개선 효과에 영향을 미치고 결과적으로 작물 수량의 증가 효과를 결정한 것으로 판단된다.

토양 내수성 입단의 증진 효과는 식양토에서보다 사양토에서 뚜렷이 나타났다 (Table 3-4). 사양토에서는 축분퇴비인 CPM과 CPIG가 높았으며, 식양토에서는 벧짚퇴비가 높았다. 내수성 입단은 토양 입자들이 재배열하고 응집, 결합하여 생긴 입단의 안정성과 관련이 깊다. 토양 유기탄소, 미생물, 양이온,

Table 3. Soybean yield and soil physical characteristics of a sandy loam field in Suwon as affected by the type of organic resources

Treatment <sup>1)</sup>	Yield <sup>2)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	Bulk density (Mg m <sup>-3</sup> )	3 Phase (%)			Porosity (%)	OM (g kg <sup>-1</sup> )	WSA(%)	
			Solid	Liquid	Gas			>0.25mm	>0.1mm
Control	2850c	1.24b	46.8b	20.5c	32.8b	53.2b	17a	8c	11c
RSC	3087a	1.14c	43.2c	19.7c	37.1a	56.8a	16a	13b	18b
CPM	2787c	1.18c	44.4c	23.0b	32.6b	55.6a	17a	16a	24a
Cocopeat	2827c	1.39a	52.6a	27.0a	20.4c	47.4c	16a	12b	18b
CPIG	2985b	1.23b	46.3b	21.0c	32.7b	53.7b	16a	16a	22a

<sup>1)</sup>RSC, CPM, CPIG, OM, and WSA denote rice straw compost, composted poultry manure with sawdust, composted pig manure with sawdust, organic matter content, and water stable aggregate, respectively.

<sup>2)</sup>Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level.

Table 4. Soybean yield and soil physical characteristics of a clay loam field in Suwon as affected by the type of organic resources

Treatment <sup>1)</sup>	Yield <sup>2)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	Bulk density (Mg m <sup>-3</sup> )	3 Phase (%)			Porosity (%)	OM (g kg <sup>-1</sup> )	WSA(%)	
			Solid	Liquid	Gas			>0.25mm	>0.1mm
Control	1787d	1.40a	52.8a	23.0a	24.2d	47.2c	17c	36b	49b
RSC	4337a	1.25c	47.3c	20.1b	32.7a	52.7a	19b	40a	62a
CPM	3462c	1.38ab	52.1ab	18.9b	28.9b	47.9bc	21ab	30c	43c
Cocopeat	3567bc	1.44a	54.5a	19.5b	26.1c	45.5c	20b	28c	39c
CPIG	3843b	1.35b	51.0b	16.2c	32.8a	49.0b	22a	36b	57a

<sup>1)</sup>RSC, CPM, CPIG, OM, and WSA denote rice straw compost, composted poultry manure with sawdust, composted pig manure with sawdust, organic matter content, and water stable aggregate, respectively.

<sup>2)</sup>Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level.

점토, 탄산염 등이 입단의 형성을 결정한다<sup>13)</sup>. 토양 유기탄소는 퇴비 등의 분해 과정에서 미생물의 활동에 따라 생기는 유기 화합물과 안정한 부식으로 부터 만들어진 다당류 등을 포함하며<sup>14),15)</sup>, 유기 화합물의 종류 및 그 변환 과정은 토양 입단의 형성과 안정성에 영향을 미친다<sup>16)-21)</sup>. 한편 점토 함량이 높을수록 입단의 형성 및 안정성이 높고 대입단에 저장되는 유기 탄소량이 높는데, 본 연구에서도 사양토보다 식양토에서 내수성 입단이 높았으며 토양 유기물 함량도 높았다.

고랭지인 평창에서 유기물 자원의 시용에 따른 콩 수량 증가 효과가 평야지인 수원에 비해서 뚜렷하였다(Table 3, 5). 두 지역에서 모두 볏짚퇴비를 처리하였을 때 콩 수량이 다른 유기물 자원과 비교하여 높았으며, 용적밀도의 감소, 기상율과 공극률의

증가 등 토양 물리성의 개선 효과 또한 두 지역에서 모두 볏짚퇴비가 상대적으로 높았다. 수원에서는 축분퇴비인 CPM과 CPIG의 입단 안정성이 높았던 것과 비교하여, 평창에서는 볏짚퇴비 처리구에서도 유의하게 입단 안정성이 높아졌다. 평창에서는 볏짚퇴비 처리에서 토양 유기물 함량이 가장 높았는데, 이는 온도의 영향으로 추정된다.

연구 결과를 요약하면, 토성과 지역에 관계없이 볏짚퇴비가 축분퇴비나 코코피트에 비해서 콩 수량의 증가 효과 및 토양 물리성의 개선 효과가 높았다. 코코피트는 탄질비가 높아서 항온 배양 실험에서 분해 속도가 가장 낮았으며, 포장 실험에서도 콩 수량 증가 및 토양 물리성 개선의 효과가 볏짚퇴비와 축분퇴비에 비해서 낮았다. 유기물 자원의 농경지 처리 효과는 장기 연용 시험을 하였을 때 커지므로,

Table 5. Soybean yield and soil physical characteristics of a sandy loam field in Pyeongchang as affected by the type of organic resources

Treatment <sup>1)</sup>	Yield <sup>2)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	Bulk density (Mg m <sup>-3</sup> )	3 Phase (%)			Porosity (%)	OM (g kg <sup>-1</sup> )	WSA(%)	
			Solid	Liquid	Gas			>0.25mm	>0.1mm
Control	1686c	1.17a	44.2a	20.1a	35.8c	55.8c	9c	4.0b	5.9c
RSC	2146a	1.05c	39.7c	18.1b	42.2a	60.3a	14a	5.9a	8.4a
CPM	2166a	1.08bc	40.9bc	16.5c	42.5a	59.1ab	11b	5.8a	7.2b
Cocopeat	2110a	1.17a	44.0a	19.7a	36.2c	56.0c	10bc	3.3b	4.6d
CPIG	1992b	1.12b	42.1b	18.7b	39.2b	57.9b	12b	6.4a	8.4a

<sup>1)</sup>RSC, CPM, CPIG, OM, and WSA denote rice straw compost, composted poultry manure with sawdust, composted pig manure with sawdust, organic matter content, and water stable aggregate, respectively.

<sup>2)</sup>Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level.

유기물 자원 사이의 처리 효과 차이가 더 뚜렷해질 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 밭 토양에서 유기물 자원의 시용에 따른 토양 물리성의 변화와 작물 수량 증가를 살펴보기 위해 수행하였다. 벧짚퇴비, 돈분툽밥퇴비, 계분툽밥퇴비, 코코피트의 네 종류의 유기물 자원을 탄소 투입량을 기준으로 동등하도록 처리하였다. 시험 포장의 토양은 분량 사양토이며, 시험작물인 콩을 재식밀도 60cm×20cm로 점파하였다. 무기질비료는 토양을 검정하여 이를 바탕으로 시비량을 계산하여 시용하였다. 유기물 자원의 시용 효과를 토성별로 살펴보기 위해 사양토와 식양토를, 온도에 따른 영향을 살펴보기 위해 평야지인 수원과 고랭지인 평창을 비교하였다. 유기물 자원별 분해 특성은 항온 배양실험을 통하여 살펴보았다. 유기물 자원의 분해 속도는 벧짚퇴비가 가장 빨랐고 돈분툽밥퇴비, 코코피트 순이었다. 콩 수량의 증가 효과는 벧짚퇴비에서 가장 높았다. 토양 입단의 안정화 효과는 수원의 사양토에서는 축분퇴비가 높았고, 식양토는 벧짚퇴비가 높았다. 고랭지에서는 축분퇴비와 벧짚퇴비의 효과가 비슷하였다. 코코피트는 콩 수량의 증가 및 토양 물리성의 개선 효과가 다른 유기물 자원에 비해 낮았다.

#### 사 사

본 논문은 농촌진흥청 국립농업과학원 시험연구사업(과제번호: PJ010867)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

#### References

1. Park, C.S., "Effects of organic material application on the growth and yield of crops in Korea", Korean J. Soil Sci. Fert., 11(3), pp. 175-194. (1978).
2. Hur, B.K., Kim, L.Y., Jo, I.S., Park, Y.S., Um, K.T., and Kim, M.S., "Effects of organic matter resources on the soil improvement and crop growth", Res. Rep. RDA Plant Environ. Mycol. Farm Prod. Util., 28(1), pp. 7-12. (1986).
3. Jo, I.S., "Effect of organic fertilizer on soil physical properties and plant growth", Technical Bulletin No. 119 Food & Fertilizer Technology Center. pp. 1-16. (1990).
4. Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., and Grego, S., "Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties", Bioresour. Technol., 72(1), pp. 9-17. (2000).
5. Aggelides, S.M. and Londra, P.A., "Effects of



- compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil”, *Bioresour. Technol.*, 71(3), pp. 253-259. (2000).
6. Brady, N.C. and Weil. R.R., *The nature and properties of soils*, 14th ed., Pearson-Prentice Hall, pp. 521-527. (2008).
  7. Park, K.C., Kim, Y.S., Kwon, O.H., Kwon, T.R., Park, S.G., “Effects of organic amendments on soil microbial community in red pepper field”, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 41(2), pp. 118-125. (2008).
  8. Lee, C.R., Ok, J.H., An, M.S., Lee, S.B., Park, K.L., Hong, S.G., Kim, M.G., and Park, C.B., “Soil chemical properties of long-term organic cultivation upland”, *Korean J. Org. Agric.*, 25(1), pp. 161-170. (2017).
  9. National Academy of Agricultural Sciences (NAAS), *Methods of soil physical analysis*, NAAS, Rural Development Administration, pp. 34-76. (2017).
  10. National Academy of Agricultural Sciences (NAAS), *Methods of soil chemical analysis*, NAAS, Rural Development Administration, pp. 51-60. (2010).
  11. Tagliavini, M., Tonon, G. Scandellari, F., Quiñones, A., Palmieri, S., Menarbin, G., Gioacchini, P., and Masia, A., “Nutrient recycling during the decomposition of apple leaves (*Malus domestica*) and mowed grasses in an orchard”, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 118(1), pp. 191-200. (2007).
  12. Yoon, S.T., Je, E.K., Kim, Y.J., Jeong, I.H., Han, T.K., Kim, T.Y., Cho, Y.S., and Yun, E.S., “Survey and evaluation of paddy-upland rotation production system”, *J. Korean Soc. Int. Agric.*, 26(4), pp. 531-543. (2014).
  13. Bronick, C.J. and Lal, R., “Soil structure and management: a review”, *Geoderma*, 124(1), pp. 3-22. (2005).
  14. Paul, E.A. and Clark, F.E., *Soil microbiology and biochemistry*, Academic press, Inc. pp. 127-130. (1989).
  15. Carter M.R., “Soil quality sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions”, *Agron. J.*, 94(1), pp. 38-47. (2002).
  16. Dalal, R.C. and Bridge, B.J., *Aggregation and organic matter storage in sub-humid and semi-arid soils*, In: Carter, M.R. and Stewart, B.A., *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. CRC Press, pp. 263-307. (1996).
  17. Kay, B.D., “Rates of change of soil structure different cropping system”, *Adv. Soil Sci.*, 12, pp. 1-52. (1989).
  18. McLaren, R.G. and Cameron, K.C., *Soil Science*, 2nd ed., Oxford University Press, pp 152-168. (1996).
  19. Oades, J.M., *Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management*, In: Tinsley, J. and Darbyshire, J.F., *Biological Processes and Soil Fertility*. Springer Netherlands, pp. 319-337. (1984).
  20. Six, J., Elliott, E.T., and Paustian, K., “Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture”, *Soil Biol. Biochem.*, 32(14), pp. 2099-2103. (2000).
  21. Tisdall, J.M. and Oades, J.M., “Organic matter and water-stable aggregates in soils”, *Eur. J. Soil Sci.*, 33(2), pp. 141-163. (1982).