

## 한우퇴비 시용에 따른 옥수수(*Zea mays* L.)의 생육에 미치는 영향

변지은<sup>1</sup> · 이준경<sup>2</sup> · 박민수<sup>3</sup> · 조나연<sup>2</sup> · 김수량<sup>4</sup> · 홍성하<sup>1</sup> · 이병오<sup>5</sup> · 이명규<sup>6</sup> · 황선구<sup>7,†</sup>

### Influence of Hanwoo (Korean Native Cattle) Manure Compost Application in Soil on the Growth of Maize (*Zea mays* L.)

Ji-Eun Byeon<sup>1</sup>, Jun Kyung Lee<sup>2</sup>, Min-Soo Park<sup>3</sup>, Na Yeon Jo<sup>2</sup>, Soo-Ryang Kim<sup>4</sup>, Sung-ha Hong<sup>1</sup>, Byong-O Lee<sup>5</sup>, Myung-Gyu Lee<sup>6</sup>, and Sun-Goo Hwang<sup>7,†</sup>

**ABSTRACT** We studied the influence of Hanwoo (Korean native cattle) manure compost soil application on the growth and yield of maize (*Zea mays* L.). We compared the soil application of chemical fertilizer (CF), commercial manure (CM), Hanwoo manure (HM), and the mixed Hanwoo manure and chemical fertilizer (HM + CF). CF application showed faster tasseling and silking dates compared to the other treatments. During the early plant growth stage of maize, CF application resulted in taller plant height. However, during later growth stages (55 days after transplanting), HM (226.0 cm) and HM + CF (230.0 cm) treatment resulted in taller plant height compared to CF (216.2 cm). Post-harvest measurement results showed that, the ear length was longer in HM (22.13 cm) and HM + CF (22.70 cm) compared to others, while ear diameter, ear weight, and 100-grains weight showed no significant difference among CF, HM, and HM + CF groups. The use of HM resulted in delayed growth during the early stages of plant development compared to CF. However, crop productivity markers of ear weight and ear diameter showed no significant difference compared to CF. Thus, HM treatment was comparable to CF treatment in maize cultivation.

**Keywords** : compost, corn, Hanwoo, Korean native cattle, maize, manure

**우리나라** 가축분뇨 총 발생량은 2014년 136,627 m<sup>3</sup>/일에서 2016년 138,205 m<sup>3</sup>/일, 2019년 153,220 m<sup>3</sup>/일로 점점 증가하고 있으며, 가축분뇨의 처리는 퇴비화가 주를 이루고 있다(Ministry of Environment, 2021). 가축분뇨의 퇴비화는 전통적으로 더 나은 취급과 운송 및 관리를 위해 분뇨를 모은 후 농민들에 의해 수행되어 왔으며, 퇴비화된 가축분뇨의 활용은 수년에 걸쳐 증가해왔다(Bernal *et al.*, 2009; Ko *et al.*, 2008).

가축분뇨는 작물이 필요로 하는 양분의 함량이 다른 농산부산물보다 높은 유기자원이며, 유기물, 유효미생물, 식

물영양소 등의 중요한 자원으로써 일반적으로 토양으로 돌려보내 경작성과 비옥도를 향상시켜 농가에서 사용할 수 있는 가장 중요한 토양 개량제라고 하였다(Bello & Adejuyigbe, 2010; Kumar *et al.*, 2013; Yun *et al.*, 2007). 분뇨의 유기물은 토양의 전용적 밀도를 감소시킬 수 있고, 거름(Manure)의 사용에 따라 토양의 유기물은 증가한다(Eghball, 2002). 또한, Ok *et al.* (2015)은 가축분뇨 퇴비를 연속으로 3년간 시용하였을 때 무처리구와 화학비료 처리구와 비교하여 토양의 유기물 함량 뿐만 아니라 유효인산, 치환성 양이온 등의 대부분 무기성분 농도가 증가하였으며, 토양 내의 용적

<sup>1</sup>상지대학교 산학협력단 연구원 (Researcher, Industry-Academic Cooperation Foundation, Sangji University, Wonju 26339, Korea)

<sup>2</sup>상지대학교 응용식물과학학과 석사과정 (M.S. Student, Department of Applied Plant Science, Sangji University, Wonju 26339, Korea)

<sup>3</sup>상지대학교 스마트팜학과 학부생 (Undergraduate Student, Department of Smart-farm, Sangji University, Wonju 26339, Korea)

<sup>4</sup>상지대학교 산학협력단 연구 교수 (Researcher Professor, Industry-Academic Cooperation Foundation, Sangji University, Wonju 26339, Korea)

<sup>5</sup>한바이오 대표 (CEO, Hanbio Incorporated, Heongseong 25222, Korea)

<sup>6</sup>상지대학교 지구환경공학과 교수 (Professor, Department of Earth and Environmental Engineering, Sangji University, Wonju 26339, Korea)

<sup>7</sup>상지대학교 스마트팜학과 교수 (Professor, Department of Smart-farm, Sangji University, Wonju 26339, Korea)

†Corresponding author: Sun-Goo Hwang; (Phone) +82-33-730-0512; (E-mail) [sghwang9@sangji.ac.kr](mailto:sghwang9@sangji.ac.kr)

<Received 20 July, 2022; Revised 16 August, 2022; Accepted 16 August, 2022>

밀도 감소와 공극률 증가 등의 물리성 개선에도 효과를 보였다고 한다(Ok *et al.*, 2015).

화학비료는 일반적으로 영양소 함량이 높고 효과적이고 빠르게 작물에 사용되나 일부 비료에는 중금속 및 고농축 방사성 핵종들이 포함되어 있기 때문에 농업에서 화학비료를 과도하게 사용하면 많은 환경 문제가 발생된다고 한다(Savci, 2012; Sun *et al.*, 2015).

퇴비는 작물재배에서 가장 많이 사용되는 유기개량제이며, 유기질비료에는 각종 무기영양분을 함유하고 있고 논작물보다는 주로 밭작물에서 소득작물 중심으로 많이 사용되고 있다(Chang *et al.*, 2014; Cho *et al.*, 2009). 오랜 기간 동안 가축분뇨와 같은 유기물질의 활용은 토양 생산력 및 작물 성과의 점진적인 개선을 가져오는 것으로 밝혀졌다(Siavoshi *et al.*, 2011). 그러나 유기질비료는 비교적 양분 함량이 낮을 뿐만 아니라 양분 방출 속도도 너무 느려 짧은 시간에 작물요구량을 충족시키지 못하기 때문에 유기질비료만 사용하는 것만으로는 농업생산의 수요를 충족시킬 수 없지만 긴 저장 수명으로 양질의 작물 수량을 생산하기 위해서는 비옥한 토양은 작물 생산에 중요하다고 할 수 있다(Sun *et al.*, 2015; Olatunji *et al.*, 2020).

농업에서 가축분뇨 퇴비는 식물에 대한 영양소의 이용 가능성이 불확실하기 때문에 화학비료만큼 효과적으로 작용할 수 없다(Gil *et al.*, 2008). 농가의 주요 목표는 작물 생산이지만, 가축분뇨 사용으로 토양 유기물에 대한 기여는 중요한 간접적인 이익이므로 가축분뇨 퇴비 사용 농가를 늘리기 위해서는 가축분뇨 퇴비가 생산성에서 화학비료를 대체할 수 있어야 한다(Kapkiyai *et al.*, 1999). Lyimo *et al.* (2012)은 수수 재배 시 우분 퇴비를 권장비율(60 kg N ha<sup>-1</sup>)로 사용하였을 때 7.8 t ha<sup>-1</sup>로 수량이 가장 높았으며, 다음으로는 계분 퇴비, 요소 처리구 순이라고 하였다. 또한, 토마토 재배 시 계분 퇴비와 우분퇴비에서 상품수량이 각각 128.12 t/ha, 122.92 t/ha로 대조구(Inorganic fertilizers)보다 높아 한우퇴비가 화학비료를 대체할 가능성이 있을 것으로 보인다(Gebologlu *et al.*, 2011).

본 연구는 옥수수 재배 시 한우퇴비를 사용함으로써 옥수수 재배 시 화학비료 대체 가능성과 옥수수 생육 및 토양 환경에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 한우퇴비의 화학적 성분

본 시험에서 사용한 한우퇴비의 화학적 성분 분석에서 pH는 10.21이었으며, 유기물 함량은 38.10%, 비소(Arsenic;

**Table 1.** Chemical composition of Hanwoo manure.

|                                     | Official standard | Hanwoo manure |
|-------------------------------------|-------------------|---------------|
| pH[1:10]                            | -                 | 10.21         |
| Organic matter (%)                  | 30 or more        | 38.10         |
| Arsenic (Dry weight, mg/kg)         | 45 or under       | ND            |
| Cadmium (Dry weight, mg/kg)         | 5 or under        | ND            |
| Mercury (Dry weight, mg/kg)         | 2 or under        | ND            |
| Lead (Dry weight, mg/kg)            | 130 or under      | 2.29          |
| Chromium (Dry weight, mg/kg)        | 200 or under      | 5.71          |
| Copper (Dry weight, mg/kg)          | 360 or under      | 75.35         |
| Nickel (Dry weight, mg/kg)          | 45 or under       | 3.55          |
| Zinc (Dry weight, mg/kg)            | 900 or under      | 239.25        |
| Ratio of organic matter to nitrogen | 45 or under       | 25.74         |
| Salinity (Dry weight, %)            | 2.0 or under      | 2.27          |
| Moisture content (%)                | 55 or under       | 48.19         |
| Maturity (CoMMe-100)                | 70% or more       | 80%           |
| Total nitrogen (%)                  | -                 | 1.48          |
| Ammonia nitrogen (%)                | -                 | 0.13          |
| Nitrate nitrogen (%)                | -                 | 0.15          |
| Total phosphorus (%)                | -                 | 1.17          |
| Total potassium (%)                 | -                 | 2.55          |

ND, Not Detected

As), 카드뮴(Cadmium; Cd), 수은(Mercury; Hg)은 불검출되어 공정규격에 적합하였다(Table 1). 또한 납(Lead; Pb), 크롬(Chromium; Cr), 구리(Copper; Cu), 니켈(Nickel; Ni), 아연(Zinc; Zn), 염분(Salinity), 유기물대 질소의 비(Ratio of organic matter to nitrogen), 수분의 경우에도 공정규격에 적합하였으며, 콤팩법(CoMMe-100)을 이용한 부숙도 평가 결과 80%로 부숙완료로 나타났다. 한우퇴비의 질소전량(Total nitrogen; T-N)은 1.48%였으며, 암모니아태 질소(Ammonia nitrogen; NH<sub>4</sub>-N)는 0.13%, 질산태 질소(Nitrate nitrogen; NO<sub>3</sub>-N)는 0.15%로 나타났고, 인산전량(Total phosphorus; T-P)과 칼리전량(Total potassium; T-K)의 경우에는 각각 1.17%, 2.55%로 나타났다.

### 시험 포장 및 시비량

본 시험은 강원도 원주에 소재한 상지대학교 포장(37°22' 16.2"N 127°55'30.1"E)에서 실시하였으며, 처리구는 화학비료 처리구(Chemical fertilizer; CF), 시판용 퇴비 처리구(Commercial manure; CM), 한우퇴비 처리구(Hanwoo manure; HM), 한우퇴비-화학비료 처리구(Hanwoo manure + Chemical

fertilizer; HM + CF), 무처리구(Untreated control plot; UC)이다. 황성군 우천면 두곡리의 한우 농가로부터 1년 동안 부숙된 한우퇴비를 공급받아 실험에 사용하였다. 처리구별 면적은 10 m<sup>2</sup>으로 3반복 난괴법으로 처리하였으며, 옥수수 종자는 미백 2호(*Zea mays* L., MIBA EK2ho)로 황성농업기술원에서 분양 받아 50공 트레이에 파종하여 16일간 키운 모종을 포장에 정식하였다.

화학비료 및 퇴비는 옥수수 표준시비량인 N-P-K=14.5-3-6 kg/10a를 기준으로 시비하였으며, 기비는 옥수수 정식하기 8일전에 시비하였고, 추비는 옥수수가 7~8엽일 때 즉, 정식 후 16일차에 시비하였다. 화학비료 처리구는 기비로 질소(요소) 50%, 인산(용성인비) 100%, 가리(염화加里) 100%를 시비하였고, 추비에 질소(요소) 50%를 시비하였다. 시판용 퇴비 처리구와 한우퇴비 처리구는 기비로 질소기준 100%를 시비하였으며, 한우퇴비-화학비료 처리구는 기비로 한우퇴비를 질소기준 50%를 시비한 후 추비로 질소(요소) 50%를 시비하였다. 시판용 퇴비 처리구는 흙토람 비료사용처방 프로그램 활용 매뉴얼에서 적용한 시중 유통 퇴비의 평균함량의 질소기준(1.45%)으로 시비하였으며, 무처리구의 경우에는 화학비료 및 퇴비 모두 기비 또는 추비로 시비하지 않았다.

### 생육 및 수확 후 조사

처리구별 출생기 및 출사일수를 조사하였으며, 처리구별로 80%이상이 출생 및 출사한 날을 조사하였다. 정식 후 3주부터 일주일마다 생육조사(초장, 경경, 잎수, 엽장, 엽폭, SPAD)를 실시하였으며, 엽록소는 SPAD 502 Chlorophyll Meter (Konica Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였다. 수확 후에는 이삭길이, 이삭 직경, 이삭 무게, 백립중, 종자 길이, 종자 폭을 조사하였다.

### 토양분석

시험 전 후 토양변화를 알아보기 위해 시험 전 후 토양분석을 실시하였으며, 토양 분석은 pH, EC, Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 치환성 칼륨, 치환성 나트륨, NaCl을 분석하였다. pH와 EC는 풍건된 시료 10 g에 증류수 50 mL를 가하여 진탕 후 pH meter와 EC meter를 이용하여 측정하였고, 유효인산은 Lancaster 법으로 분석하였으며, 치환성 K, Na은 1 MNH<sub>4</sub>OAc로 추출하여 ICP (Varian 730-ES, Varian Inc., Palo AHO, USA)로 분석하였다

### 통계처리

생육 및 수확 후 조사 항목의 측정 값은 R package Agicolae

을 이용하여 Duncan의 다중범위검정법(Duncan's new multiple range test)을 통해 통계처리 하였으며, 평균제곱오차를 고려해 평균 값을 5% 유의수준에서 비교하였다.

## 결 과

### 시험 후 토양성분의 차이

시험 후 처리구별 토양성분의 변화를 살펴보면 pH는 화학비료 처리구의 토양이 5.01로 무처리구의 토양보다 낮았으나 한우퇴비-화학비료 처리구의 토양을 포함한 퇴비 사용 토양에서는 무처리구의 토양보다 높았다(Table 2). 유효인산의 경우 무처리구의 토양이 270.09 mg/kg으로 가장 적었으며, 화학비료, 한우퇴비, 한우퇴비-화학비료 처리구의 토양은 310.99에서 363.94 mg/kg의 범위를 보였다. 반면에, 시판용 퇴비를 사용한 토양에서는 630.56 mg/kg으로 처리구의 토양 중 높았다. 치환성 K는 퇴비를 사용한 토양에서 높았으며, 치환성 Na는 한우퇴비를 사용한 처리구의 토양인 한우퇴비 처리구(0.13 cmol+/kg), 한우퇴비-화학비료 처리구(0.11 cmol+/kg)의 토양에서 상대적으로 높았다. 한우퇴비 처리구의 K가 높은 것은 퇴비의 K함량이 높아 나타난 현상으로 보인다. NaCl의 경우에도 치환성 Na와 유사하게 한우퇴비 처리구, 한우퇴비-화학비료 처리구의 토양에서 0.005%로 무처리구, 화학비료 처리구, 시판용 퇴비 처리구의 토양보다 높았다. 한우퇴비의 염분이 공정규격보다 높아 한우퇴비 처리구에서 NaCl이 높게 나타난 것으로 보인다.

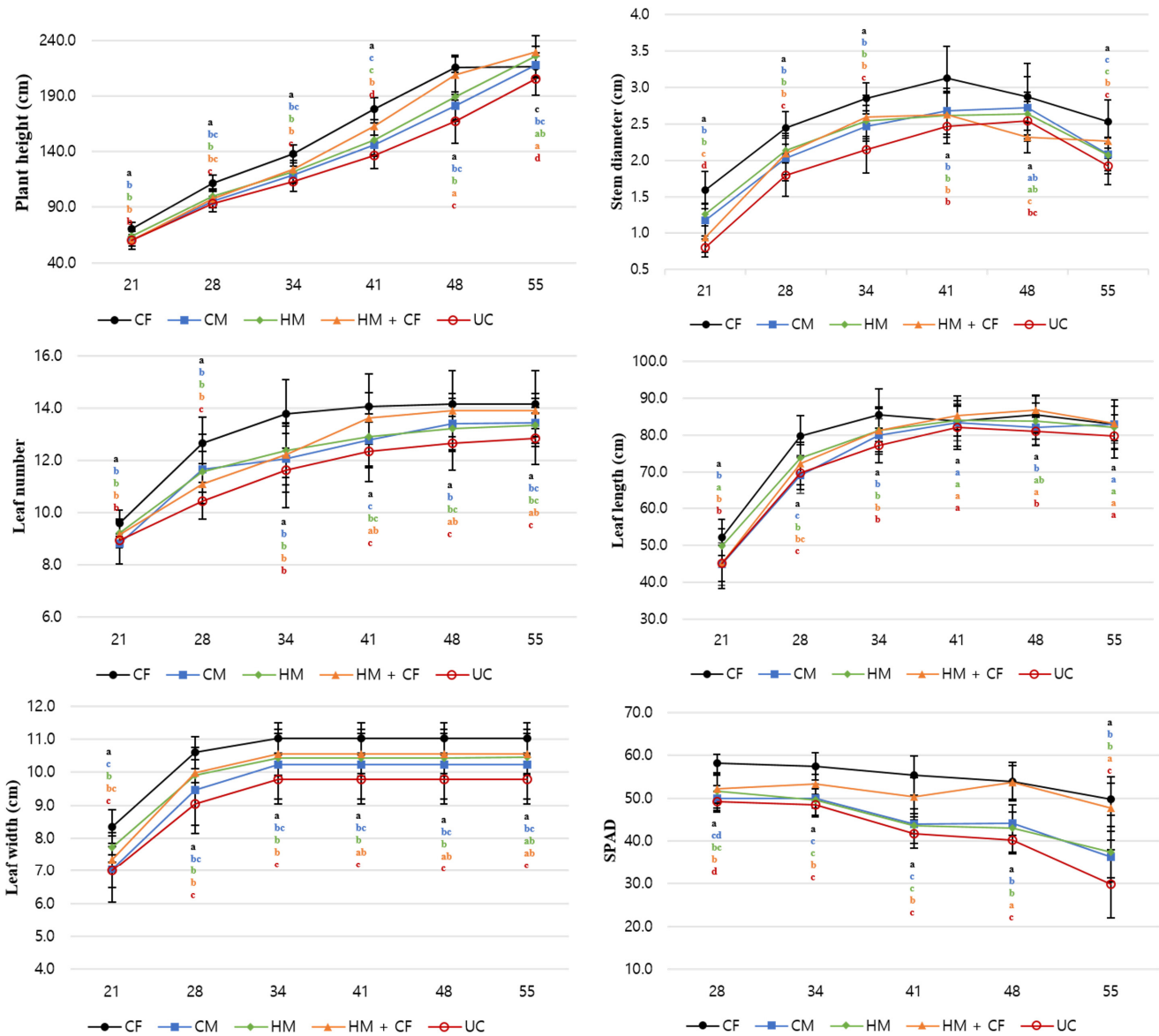
### 생육조사

한우퇴비와 화학비료의 사용이 옥수수 작물 생육에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다양한 생육 특성을 조사하였다(Fig. 1). 그 결과, 초장(지면에서부터 잎을 세웠을 때의 높이)에서 화학비료 처리구는 정식 후 21일차부터 41일차까지 가장 길었으나 정식 후 48일차의 경우 한우퇴비-화학비료 처리구와 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 1). 옥수수의 출사일 이후 55일차에는 한우퇴비-화학비료 처리구는 230.0 cm, 한우퇴비 처리구는 226.0 cm로 화학비료 처리구보다 긴 초장을 보였다. 전체적으로 출사일 이전 가축분퇴비(시판용퇴비, 한우퇴비, 한우퇴비-화학비료 처리구)와 관련한 처리구의 경우 화학비료보다 짧은 초장 길이를 보였으나 출사일 이후 화학비료와 비교하여 유의한 차이를 보이지 않거나 긴 초장을 보였다. 퇴비 사용 시 생육 초기에는 화학비료 처리구보다 초장이 짧았으나 생육 후기에는 화학비료 처리구보다 초장이 길었다. 경경(줄기 두께)은 정식

**Table 2.** Chemical composition of soil after different treatments.

|   | CF     | CM     | HM     | HM + CF | UC     |
|---|--------|--------|--------|---------|--------|
| pH [1:5]  | 5.01   | 6.06   | 5.59   | 5.65    | 5.26   |
| EC [1:5] (dS/m)                                 | 0.17   | 0.24   | 0.17   | 0.18    | 0.17   |
| Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg) | 310.99 | 630.56 | 356.63 | 363.94  | 270.09 |
| Ex. cation K (cmol <sup>+</sup> /kg)            | 0.12   | 0.19   | 0.17   | 0.16    | 0.12   |
| Ex. cation Na (cmol <sup>+</sup> /kg)           | 0.05   | 0.05   | 0.13   | 0.11    | 0.05   |
| NaCl (%)  | 0.003  | 0.003  | 0.005  | 0.005   | 0.003  |

CF, Chemical fertilizer; CM, Commercial manure; HM, Hanwoo manure; HM + CF, Hanwoo manure + Chemical fertilizer; UC, Untreated control soil.



**Fig. 1.** Changes in plant height, stem diameter, leaf number, leaf length, leaf width, and SPAD over time after different soil treatments. CF, Chemical fertilizer; CM, Commercial manure; HM, Hanwoo manure; HM + CF, Hanwoo manure + Chemical fertilizer; UC, Untreated control soil. Results are mean ± SD of 6 independent experiments. All measured parameters were compared on all tested days using Duncan's new multiple range test at a 5% level of significance.

후 21일차부터 41일차까지 화학비료 처리구가 가장 두꺼웠으며, 무처리구의 경우에는 가장 얇았다. 출사일 이후 55일차에 경경은 화학비료 처리구가 2.5 cm로 가장 두꺼웠으며, 시판용 퇴비와 한우퇴비 처리구는 2.1 cm, 무처리구는 1.9 cm로 상대적으로 얇은 수치를 보였다. 경경의 경우 초장과 달리 출사일 이후까지 화학비료 처리구가 퇴비 사용 처리구보다 두꺼운 경향을 보였다. 엽수는 화학비료 처리구가 정식 후 34일차까지 가장 많았으며, 정식 후 41일차에는 수치상 화학비료 처리구가 14.1개로 가장 많았으나 한우퇴비-화학비료 처리구가 13.6개로 화학비료 처리구와 유의한 차이를 보이지 않았다. 처리 이후 48일과 55일에서 화학비료 처리구는 한우퇴비-화학비료 처리구와 유의한 차이를 보이지 않았다. 한우퇴비 처리구는 화학비료 처리구의 엽수와 비교하여 생육 기간 동안 적었으나 시판용 퇴비, 한우퇴비-화학비료 처리구와는 생육 기간 동안 유의한 차이를 보이지 않았다. 엽장은 정식 후 34일차까지 화학비료 처리구에서 가장 긴 길이를 보였으나 41일 이후 처리구 사이의 유의한 차이를 보이지 않았다. 엽폭은 정식 후 34일차까지 화학비료 처리구가 가장 길었으나 출사일 이전 48일차에는 한우퇴비-화학비료 처리구와 유의한 차이를 보이지 않았다. 출사일 이후 55일차에는 한우퇴비는 화학비료, 한우퇴비-화학비료 처리구와 유의한 차이를 보이지 않았다. 엽록소 함량은 화학비료 처리구가 정식 후 41일차까지 처리구 중 가장 높았으나, 48일차 이후 화학비료 처리구와 한우퇴비-화학비료 처리구가 각각 49.8, 47.6으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

**출웅기 및 출사기**

처리구별 정식 후 출웅기까지의 평균 소요기간은 화학비료 처리구는 46일로 나타났으며, 시판용 퇴비, 한우퇴비 처

**Table 3.** Tasseling and silking dates after different soil treatments.

| Treatments | Stage | Days to tasseling | Days to silking |
|------------|-------|-------------------|-----------------|
| CF         |       | 46 days           | 48 days         |
| CM         |       | 48 days           | 52 days         |
| HM         |       | 48 days           | 52 days         |
| HM + CF    |       | 47 days           | 51 days         |
| UC         |       | 48 days           | 53 days         |

CF; Chemical fertilizer, CM; Commercial manure, HM; Hanwoo manure, HM + CF; Hanwoo manure + Chemical fertilizer, UC; Untreated control soil. Results are the mean ± SD of 3 independent experiments.

리구와 무처리구는 48일로 이었다(Table 3). 정식 후 출사기까지의 소요기간은 화학비료 처리구가 48일로 가장 짧았으며, 한우퇴비-화학비료(51일) 시판용 퇴비(52일), 한우퇴비(52일), 무처리구(53일) 순이었다.

**수량 조사**

퇴비의 사용이 옥수수의 수량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 이삭과 종자에 관련한 형질들을 조사하였다(Table 4). 이삭길이는 한우퇴비 처리구는 22.13 cm, 한우퇴비-화학비료 처리구는 22.70 cm로 처리구 중 긴 특징을 보였다. 이삭의 직경은 수치상 한우퇴비 처리구가 4.43 cm로 가장 길었으나 화학비료, 한우퇴비-화학비료 처리구와 유의한 차이를 보이지 않았다. 시판용 퇴비 처리구와 무처리구의 이삭 직경은 4.00 cm로 처리구 중 가장 짧았다. 이삭의 무게와 백립중, 종자 길이에서 화학비료, 한우퇴비-화학비료 처리구, 한우퇴비 처리구는 무처리군과 시판용퇴비 처리에

**Table 4.** Plant productivity after different soil treatments.

|         | Ear length (cm)            | Ear diameter (cm) | Ear weight (g) | 100-grains weight (g) | Seed length (cm) | Seed width (cm) |
|---------|----------------------------|-------------------|----------------|-----------------------|------------------|-----------------|
| CF      | 20.53±0.351c <sup>1)</sup> | 4.33±0.153a       | 201.67±29.738a | 28.33±2.082a          | 0.97±0.050a      | 0.92±0.050a     |
| CM      | 21.23±0.404bc              | 4.00±0.100b       | 168.00±12.000b | 19.67±1.528b          | 0.85±0.111b      | 0.77±0.086c     |
| HM      | 22.13±0.737ab              | 4.43±0.058a       | 215.67±11.372a | 28.33±2.082a          | 0.97±0.067a      | 0.91±0.087a     |
| HM + CF | 22.70±0.400a               | 4.40±0.100a       | 219.67± 5.508a | 28.67±0.577a          | 0.98±0.050a      | 0.86±0.054b     |
| UC      | 17.63±0.987d               | 4.00±0.100b       | 140.33± 7.234b | 20.67±2.517b          | 0.85±0.066b      | 0.84±0.058b     |

CF, Chemical fertilizer; CM, Commercial manure; HM, Hanwoo manure; HM + CF, Hanwoo manure + Chemical fertilizer; UC, Untreated control soil.

Results are the mean ± SD of 3 independent experiments; seed length and seed width are the mean ± SD of 27 independent experiments.

<sup>1)</sup> Means separation within columns compared by Duncan's new multiple range test at 5% level of significance.

비해 상대적으로 높은 무게를 보였으며, 세 처리구 사이에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 종자 폭의 경우에는 화학비료 처리구(0.92 cm)와 한우퇴비 처리구(0.91 cm)가 상대적으로 긴 길이를 보였다.

## 고 찰

시험 후 토양의 화학적 성분 분석 결과, 토양의 pH는 화학비료 처리구는 시용 전보다 pH가 낮아지는 경향을 보였으며, 퇴비 시용 처리구는 화학비료와 비교하여 시험 전과 비슷한 pH를 나타내었고 무처리구보다 pH가 높은 경향을 보였다. 이와 유사하게 Kim *et al.* (1999)의 연구에서도 옥수수 재배 시 무시용에 비해 계분퇴비, 우분퇴비, 식품오니 퇴비 시용의 토양에서 pH가 약간 높았다. 유효인산의 경우 계분을 이용한 시판용 퇴비의 경우 높은 수치를 보였는데 Ryu & Lim (1999)의 연구에서도 돈분 연용 토양과 우분 연용 토양보다 계분 연용 토양에서 유효인산 함량이 크게 높았다고 보고하였다. 본 연구에서 시판용 퇴비 시용 토양의 유효인산이 높았던 것은 시판용 퇴비에 계분이 50% 함유되어 있었기 때문으로 판단되며, 시판용 퇴비 처리구가 다른 처리구에 비해 토양의 유효인산이 높아 미량요소가 결핍되어 화학비료, 한우퇴비, 한우퇴비-화학비료 처리구보다 모든 수량성 조사항목에서 작은 경향을 보였던 것으로 판단된다.

한우퇴비-화학비료 처리구는 생육조사 항목(초장, 엽장, 엽폭, 경경, 엽수, SPAD) 모두 화학비료 처리구와 큰 차이를 보이지 않았으나 한우퇴비 처리구는 경경, 엽수, SPAD가 화학비료 처리구보다 낮았다. Omisore & Abayomi (2016)의 연구에서 파종 후 9주차(9WAP)에 무처리구에서 초장이 가장 짧았으나 요소 비료를 시용한 경우 무처리구 뿐만 아니라 퇴비 처리구들보다도 초장이 가장 길었다. 이와 달리 본 연구에서는 정식 55일차에 한우퇴비 시용 처리구의 초장이 화학비료 보다 길었는데 이는 화학비료 처리구의 출용기와 출사일수가 한우퇴비 시용 처리구보다 빨라 생장이 중단되었기 때문으로 보인다. 무처리구의 경우 화학비료 처리구보다 출용기와 출사일수가 늦었는데 초장이 짧은 것은 생장에 필요한 영양분이 부족하여 생장을 잘하지 못한 것으로 판단된다. 경경의 경우 한우퇴비-화학비료 처리구와 화학비료 처리구가 한우퇴비, 시판용 퇴비, 무처리구보다 두꺼웠으며, Solomon Wisdom *et al.* (2012)의 연구에서도 파종 후 1주차부터 화학비료(N.P.K) 처리구가 우분, 대조구보다 경경이 두꺼웠다.

출용기는 46~48일, 출사일수는 48~53일로 나타나 출용기에서 출사일수까지 2~5일 소요되었다. Yu *et al.* (2017)

의 연구에서는 미백2호의 출용 소요일(Days to tasseling)이 답전윤환 밭은 63일, 연속 밭은 62일로 나타났고 출사 소요일은 답전윤환 밭이 65일, 연속 밭이 67일로 나타났지만 출용기에서 출사일수까지 2~5일이 소요되어 본 연구와 출용기에서 출사일수까지의 기간은 차이가 없었다. Lee *et al.* (2020)의 연구에서는 미백2호를 3월 25일에 파종하였을 때는 출사 소요일이 77일로 나타났으며, 4월 5일에 파종하였을 때에는 72일, 4월 15일에 파종하였을 때는 65일로 나타나 파종일이 늦을수록 출사 소요일이 빨랐다. Heo *et al.* (2017)의 연구에서도 4월에 파종한 것보다 5월에 파종한 것이 미백2호 개체에서 출사일수가 짧았는데 이는 생육기간 동안 온도가 높아서 나타난 것이라 하였다. 본 시험에서 타 연구보다 출사 소요일이 짧았던 것은 파종과 정식 모두 5월에 실시하여 정식 일이 늦었을 뿐만 아니라 생육기간 동안 온도가 높아 나타난 결과로 보인다. 본 연구에서는 화학비료 처리구가 한우퇴비나 한우퇴비-화학비료, 시판용 퇴비 처리구보다 출용기 1~2일, 출사일수 3~4일 빨랐는데 화학비료는 한우퇴비, 시판용 퇴비보다 옥수수가 생장 시 필요한 영양분을 쉽게 흡수할 수 있었기 때문으로 생각된다.

퇴비 시용에 대한 옥수수의 수량성 결과에서 한우퇴비 처리구가 화학비료 처리구보다 이삭 길이가 길었고, 이삭 직경, 이삭 무게, 백립중, 종자 길이, 종자 폭도 화학비료 처리구와 큰 차이를 보이지 않았다. 한우퇴비-화학비료 처리구는 종자 폭이 화학비료 처리구보다는 짧았지만 이를 제외한 생산성에 관련 있는 이삭 길이, 이삭 무게, 백립중 모두 화학비료 처리구보다 크거나 차이가 없었다. 한우퇴비와 한우퇴비-화학비료 처리시 화학비료보다 상대적으로 긴 이삭 길이를 보였으며 이삭의 직경은 세 처리구(화학비료, 한우퇴비, 한우퇴비-화학비료) 사이에서 유의한 차이를 보이지 않았다. El-Shafey & El-Hawary (2016)은 유기질비료의 2년 시용 후 이삭의 길이와 직경에서 화학비료와 비교하여 유의한 차이를 발견하지 못하였다. 생육기간 중에는 한우퇴비 시용하는 것이 화학비료 시용하는 것 보다 더딘 경향을 보였으나 수확 후 수량성에서는 이삭무게와 백립중 모두에서 화학비료는 한우퇴비와 한우퇴비-화학비료 처리구와 유의한 차이를 보이지 않았다. Olatunji *et al.* (2020)의 연구에서 이삭무게는 무기질 비료가 251.92 g으로 우분 처리구(225.31 g)보다 무거웠으나 백립중은 무기질비료 처리구(Inorganic fertilizer)와 우분 처리구(Cattle waste)가 36.69~38.35 g으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Olatunji *et al.*, 2020). 본 시험에서 옥수수의 생산성과 관련 있는 항목에서 한우퇴비는 화학비료와 큰 차이를 보이지 않아 이를 대체할 수 있을 것으로 보인다.

## 사 사

최근 식습관의 변화 등으로 가축의 사육 두수가 증가되고 있는 가운데 축산 폐수는 상수원 상류지역에 방출됨으로써 환경문제로 대두되고 있으며, 이것에 대한 대책 마련을 위하여 관계 기관이 많은 노력을 쏟고 있다(Yeon, 2001). 가축분뇨의 높은 수거비용과 처리비용은 농가의 경제적 손실과 사회적 문제를 야기시킨다(Yoo *et al.*, 2004). 통계청의 논벼 농산물 생산비 통계에 따르면 2021년 기준 생산비 총액(10a 당 생산비) 중 무기질 비료가 차지하는 비율은 약 5%에 해당하며 가축분뇨와 같은 유기질 비료는 약 2%에 해당한다(Statistics Korea, 2022). 따라서 가축분뇨 중 하나인 한우퇴비의 자원화를 통한 사용량 증가는 유기 농업의 활성화와 화학비료 또는 농약의 사용량을 절감할 수 있어 안전한 먹거리생산 뿐만 아니라 환경 개선 및 농가 소득 향상에도 도움을 줄 것이다.

퇴비는 토양의 용적밀도 감소, 공극률 증가, 유기물 증가 등 토양환경에 이점이 있다(Eghball, 2002; Ok *et al.*, 2015). 또한, 퇴비 속 미생물은 생물질소 함량의 증가, 불용 양분(인산, 아연, 철)의 가용화를 통한 작물 이용성 향상, 중금속 물질과 같은 오염원 분해, 생물학적 방제 등을 통하여 작물생육을 위한 토양 환경을 개선시킨다(Yeon, 2001). 그러므로 장기적으로 보았을 때 작물재배 시 퇴비 사용하는 것이 화학비료보다 토양환경 개선에 도움이 되고 생산성 측면에서 보았을 때도 긍정적인 효과를 보일 것으로 생각된다. 퇴비는 화학비료와는 달리 작물에 짧은 시간에 이용되기 어려워 효과가 늦게 나타나기 때문에 장기적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

## 적 요

화학비료 처리구가 한우퇴비 처리구보다 출용기는 2일, 출사기는 4일정도 빨랐다. 초장은 생육초기에는 화학비료 처리구가 가장 길었으나 생육후기(정식 55일차)에는 한우퇴비 처리구가 화학비료 처리구보다 초장이 길었다. 이는 화학비료 처리구가 한우퇴비 처리구보다 출사기가 빨라 화학비료 처리구의 생장기간이 한우퇴비 처리구보다 짧았기 때문에 나타난 현상으로 보인다. 수확 후 이삭길이는 한우퇴비 사용 처리구에서 가장 길었으며, 이삭 직경, 이삭무게, 백립중의 경우에는 화학비료 처리구와 한우퇴비 사용 처리구가 유의한 차이를 보이지 않았다. 종합적으로 한우퇴비 사용 시 이삭길이의 경우에는 한우퇴비 사용하는 것이 더 길었으며, 이삭무게와 백립중은 화학비료 사용 시와 큰 차이를 보이지 않아 한우퇴비가 화학비료를 대체할 수 있을 것으로 보인다.

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(421046-03).

## 인용문헌(REFERENCES)

- Bello, W. and C. Adejuyigbe. 2010. Effect of Mixed-manure Compost and Farm yard manures on growth and yield of Maize. *The International Journal of Organic Agriculture Research and Development* 6 : 86-93.
- Bernal, M. P., J. Alburquerque, and R. Moral. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource technology* 100 : 5444-5453.
- Chang, E.-H., C.-H. Wang, C.-L. Chen, and R.-S. Chung. 2014. Effects of long-term treatments of different organic fertilizers complemented with chemical N fertilizer on the chemical and biological properties of soils. *Soil science and plant nutrition* 60 : 499-511.
- Cho, K.-R., T.-J. Won, C.-S. Kang, J.-W. Lim, and K.-Y. Park. 2009. Effects of mixed organic fertilizer application with rice cultivation on yield and nitrogen use efficiency in paddy field. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 42 : 152-159.
- Eghball, B. 2002. Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications. *Agron. J.* 94 : 128-135.
- El-Shafey, A. I. and M. El-Hawary. 2016. integrated effect of bio-organic and/or nitrogen fertilizer on growth and yield of maize (*Zea mays* L.). *Zagazig Journal of Agricultural Research* 43 : 1105-1119.
- Gebologlu, N., Y. Yanar, and M. Aydin. 2011. Effect of different organic fertilizers on yield and fruit quality of indeterminate tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Scientific Research and Essays* 6 : 3623-3628.
- Gil, M., M. Carballo, and L. Calvo. 2008. Fertilization of maize with compost from cattle manure supplemented with additional mineral nutrients. *Waste Management* 28 : 1432-1440.
- Heo, T., Y. Choi, S. Sa, H. Kang, S. Kim, H. Lee, S. Park, J. Lee, J. Lee, and J. Lee. 2017. Changes in Ear and Growth Characteristics of the Waxy Corn Cultivar of 'Mibaek 2' at Different Sowing Times.
- Kapkiyai, J. J., N. K. Karanja, J. N. Qureshi, P. C. Smithson, and P. L. Woomer 1999. Soil organic matter and nutrient dynamics in a Kenyan nitisol under long-term fertilizer and organic input management. *Soil Biology and Biochemistry* 31 : 1773-1782.
- Kim, J.-G., K.-B. Lee, S.-B. Lee, D.-B. Lee, and S.-J. Kim. 1999. The effect of long-term application of different organic material sources on chemical properties of upland soil. *Korean Journal*

- of Soil Science and Fertilizer 32 : 239-253.
- Ko, H. J., K. Y. Kim, H. T. Kim, C. N. Kim, and M. Umeda. 2008. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. *Waste Management* 28 : 813-820.
- Kumar, R. R., B. J. Park, and J. Y. Cho. 2013. Application and environmental risks of livestock manure. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry* 56 : 497-503.
- Lee, J.-W., S.-G. Hwang, H.-R. Moon, I.-J. Kim, and Y.-H. Kim. 2020. Effects of the Slow-releasing Fertilizer and Sowing Date on Waxy Corn. *KOREAN JOURNAL OF CROP SCIENCE* 65 : 477-484.
- Lyimo, H., R. Pratt, and R. Mnyuku. 2012. Composted cattle and poultry manures provide excellent fertility and improved management of gray leaf spot in maize. *Field Crops Research* 126 : 97-103.
- Ministry of Environment. 2021. statistics of livestock manure treatment.
- Ok, J.-H., J.-L. Cho, B.-M. Lee, N.-H. An, and J.-H. Shin. 2015. Monitoring for change of soil characteristics by repeated organic supply of compost and green manures in newly reclaimed organic upland field. *Korean Journal of Organic Agriculture* 23 : 813-827.
- Olatunji, K., A. Adebayo, and G. Bolaji. 2020. Investigating organic manure and inorganic fertilizer for sustainable maize (*Zea mays*) production in Southwestern Nigeria. *Asian Journal of Environment & Ecology* 13 : 31-40.
- Omisore, J. and Y. Abayomi. 2016. Responses of maize growth and grain yield to different sources and time of application of nitrogen fertilizer. *Nigerian Journal of Soil Science* 26 : 41-51.
- Ryu, I.-S. and S.-J. Lim. 1999. Effects of Animal Manure Application on Crops Yield and Reducing the Application Rate of Fertilizer. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 32 : 232-238.
- Savci, S. 2012. An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development* 3 : 77-80.
- Siavoshi, M., A. Nasiri, and S. L. Laware. 2011. Effect of organic fertilizer on growth and yield components in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agricultural science* 3 : 217.
- Solomon Wisdom, G., R. Ndana, and Y. Abdulrahim. 2012. The Comparative study of the effect of organic manure cow dung and inorganic fertilizer NPK on the growth rate of maize (*Zea mays* L). *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science* 2 : 516-519.
- Statistics Korea. 2022. Cost of agricultural products in 2021.
- Sun, R., X. Guo, D. Wang, and H. Chu. 2015. Effects of long-term application of chemical and organic fertilizers on the abundance of microbial communities involved in the nitrogen cycle. *Applied Soil Ecology* 95 : 171-178.
- Yeon, C. 2001. A Study on the Environmental Improvement with Resources of Livestock Wastes. *Journal of the Korean professional engineers association*. 34 : 46-51.
- Yoo, D.-K. and Kwon, S.-K. 2004. A case study on the Actual Condition of Management and Facility Use in Livestock Feces. *Korea Journal of Organic Agriculture* 12 : 1-22.
- Yu, J.-B., S.-T. Yoon, M.-H. Ye, G.-J. Lee, S.-B. Cho, Y.-K. Lee, K.-S. Han, S.-W. Baek, B.-R. Kim, and S.-I. Kim. 2017. Disease, insect damage and growth characteristics of green maize between rotational upland field and continuing upland field in order to select optimum varieties for paddy-upland rotation system. *Korean Journal of Organic Agriculture* 25 : 387-401.
- Yun, H.-B., Y. Lee, C.-Y. Yu, S.-M. Lee, B.-K. Hyun, and Y.-B. Lee. 2007. Effect of crude carbohydrate content in livestock manure compost on organic matter decomposition rate in upland soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 40 : 364-368.