

척박지에서 퇴비와 무기질 비료가 옥수수 생장에 미치는 영향

김경희¹ · 김규원² · 이상용³ · 이병무^{4,†}

Organic Manure Compost and Inorganic Fertilizer Levels Affect Maize Growth in Barren Soils

Kyung-Hee Kim¹, Gyu Won Kim², Sang-Ryong Lee³, and Byung-Moo Lee^{4,†}

ABSTRACT This study aimed to investigate the effect of manure compost content on early growth of maize in barren soils, to establish cultivation techniques that can increase maize yields on barren soils and to provide information on cultivation techniques. The results showed that in the manure compost treatments (1,500 and 1,000 kg/10a), yields increased with increasing amounts of manure compost compared to those of standard fertilization and decreased with decreasing amounts of manure compost. In addition, in fields with the no manure compost treatment (0 kg/10a), yields decreased overall compared to yields of fields treated with manure compost (1,500 and 1,000 kg/10a) regardless of the amount of fertilization. Maize growth was good irrespective of variety when compost was applied in high amounts to the barren soil, but poor initial growth was observed in all varieties in the untreated plots where no compost was applied to the barren soil. These results confirm that maize is affected by organic (manure compost) fertilizer in all aspects of its growth, and that a minimum of 1,000 kg/10a of manure compost and two-thirds (0.6) of chemical fertilizer should be applied to ensure stable maize yields, particularly when maize is grown on barren soils.

Keywords : barren soils, chemical fertilizer, maize growth, manure compost, yield

척박한 환경은 일반적으로 땅이 기름지지 못 하고 몹시 메마른 상태를 말한다. 특히 척박한 토양에서는 작물이 생장에 방해를 받아 발육 상태가 더디거나 향후 수확량까지도 심각한 영향을 받을 수 있다. 작물이 생장을 저해하는 척박한 환경은 전 세계적으로 발생하는 지구온난화 및 기후변화로 인해 점점 토양이 산성화되면서 늘어나고 있다. 또한 토양 산성화의 주요 원인으로 산업화 및 도시화로 인한 활동이 증가하면서 대기 환경이 심각하게 변한 것도 있다. 결국 토양까지 유해한 성분들이 침식되면서 토양 산성화가 심화되었고 척박한 환경으로 변하게 되었다. 또한 작물의 생산성을 높이고자 화학비료의 사용이 증가하면서 토양 산성화로의 진행을 더욱 가속화 시키고 있다.

옥수수는 일반적으로 수확량을 높이기 위해 많은 양의 비료를 필요로 하는데, 그 중에서 특히 질소와 칼륨을 필요로 한다(Bray & Kurtz, 1945). 우리나라에서 비료란 ‘식물에 영양을 주거나 식물의 재배를 돕기 위하여 흙에서 화학적 변화를 가져오게 하는 물질, 식물에 영양을 주는 물질, 그 밖에 농림축산식품부령으로 정하는 토양개량용 자재 등을 말한다’로 정의하고 있다(비료관리법 제2조). 식물의 적절한 성장을 위한 적절한 형태의 비료 선택은 옥수수 재배에 대한 적합성과 관련하여 지역 자연조건과 토양 및 기후의 변화에 따라 결정된다. Thomson (2007)에 따르면 비료는 토양의 자연 비옥도를 보충하기 위해 중요하며, 또한 식물은 필요로 하는 영양소를 직접 비료를 통해 공급받기도 한다.

¹동국대학교 생명과학과 연구 교수 (Researcher Professor, Department of Life Science, Dongguk University-Seoul, Seoul 04620, Korea)

²동국대학교 바이오환경과학과 석사과정 (M.S. Student, Department of Biological and Environmental Science, Dongguk University-Seoul, Seoul 04620, Korea)

³동국대학교 바이오환경과학과 교수 (Professor, Department of Biological and Environmental Science, Dongguk University-Seoul, Seoul 04620, Korea)

⁴동국대학교 생명과학과 교수 (Professor, Department of Life Science, Dongguk University-Seoul, Seoul 04620, Korea)

†Corresponding author: Byung-Moo Lee; (Phone) +82-31-961-5130; (E-mail) bmlee@dongguk.edu

<Received 12 October, 2023; Revised 2 November, 2023; Accepted 2 November, 2023>

Nwodoka *et al.* (2016)에서도 옥수수 성장 단계에서 적절한 양의 비료(N, P, K)를 사용하면 옥수수 성장 및 품질이 향상된 것을 확인하였다. 한편 척박한 토양의 지력 증진을 위해서 유기물(우분, 가금류 배설물, 돈분)을 토양개량제로 사용하면 토양이 개선되어 양분 보유력이 높아지고 다양한 미생물들의 활동이 촉진되어 작물에게 영양분을 공급할 수 있다(Khaliq *et al.*, 2004; Kolawole, 2014). Enujoke (2013)는 옥수수의 곡물 수확량 증가를 위해 450 kg/ha의 NPK 20:10:10 또는 가금류 분뇨 30 t/ha의 사용을 권장했다. 또한 가금류 및 가축 배설물이 옥수수의 뿌리 성장을 증가시키고 작물이 곡물 수확량을 증가시키기 위해 토양 수분을 더 효율적으로 흡착한다고 보고했다.

국내 많은 농가가 화학비료에 의존해 농경지의 양분을 관리함에 따라 토양의 유기물 함량과 비옥도가 감소하고 있다. 우리나라 토양의 유기물 함량은 논이 2.6% (1964~1968년)에서 2.3% (1980~1988년)로 낮아졌고, 밭은 1.9% (1985~1988년)로 논보다 더 낮았다(Rural Development Administration, Agricultural Technology Institute, 1989). 이에 따라 토양 비옥도 향상을 위한 합리적인 유기물 사용 방법이 연구되고 있으며, 화학비료 사용을 줄이고 유기농 자재를 사용하는 지속 가능한 농업인 유기농업의 중요성이 강조되고 있다. 유기농업에서는 토양의 건강성을 확보하는 것이 중요한데, 유기물을 농경지에 사용하면 작물에 영양분을 공급할 뿐만 아니라 토양 구조를 개선하고 양분과 수분 보유력을 높이며 미생물 활동을 촉진하는 등 다양한 효과를 얻을 수 있다(Lee *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2007; Choi *et al.*, 2011). 퇴비는 중요한 유기물 공급원이다. 현재까지 국내에서는 가축 분뇨 퇴비의 분해 특성, 토양으로 방출되는 유기 질소의 양과 작물에 미치는 영향, 가축 분뇨 퇴비와 토양에서 무기 질소의 영양소 가용성의 시간적 변화 등에 대한 많은 연구가 수행되었다(Lee *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2020; Ahn *et al.*, 2021; Byeon *et al.*, 2022; Kim *et al.*, 2023). 한편 간척지에서는 일반적으로 부정적 영향을 덜 받는 벼를 주로 재배하고 있지만, 다른 밭작물의 생산량이 부족하여 간척지에 벼 외에 밭작물 및 사료작물의 재배도 필요하다 (Lee *et al.*, 2003; Lee & Yun, 2014). 하지만 간척지 내 토양은 나트륨의 비율이 높아 식물 생육에 부적합하여 농경지로 이용하는 데 어려움이 있다(Lee *et al.*, 2003). 새만금간척지의 토양 유기물 함량은 일반 농경지에 비해 10분의 1 수준인 2 g/kg 정도이기 때문에, 유기물을 이용한 토양 개선이 중요하다(Ryu *et al.*, 2021; Tambone *et al.*, 2007). 이와 같이 간척지에서 작물을 안정적으로 재배하기 위해 숙전화, 유기물 증진 및 양분 관리 기술이 필

요하다. 최근 Oh *et al.* (2022)은 새만금간척지에 숙전화를 위해 화학비료와 퇴비를 혼합시비하여 옥수수 생육에 미치는 연구를 3년간 수행하였다. 연구 결과 2년차부터 혼합시비 처리구(화학비료+퇴비/FC)가 단독 처리구(화학비료/F, 퇴비/C)에 비해 옥수수 수량이 1,527 kg/10a (F: 1,206 kg/10a, C: 377 kg/10a)으로 높았으며, 옥수수 생육에도 영향을 미치는 것을 확인하였다.

현재 국내에서는 척박한 토양 조건에서 퇴비와 화학비료의 효과를 검증한 연구가 전무하다. 또한 비료 성분이 없는 척박지에서의 연구는 퇴비와 화학비료가 옥수수 생육에 미치는 영향을 보다 정확하게 검증할 수 있다. 따라서 본 연구는 척박지에서 퇴비 함량이 옥수수 초기 생육에 미치는 영향을 조사하고, 척박지에서 옥수수 수확량을 증대시킬 수 있는 재배 기술을 확립하여 재배 기술에 대한 정보를 제공하고자 합니다.

재료 및 방법

척박지 시험 포장 조성 및 토양 특성

본 연구는 경기도 고양시에 위치한 동국대학교 부속 바이오자원생태농장에서 2022년에서 2023년까지 연구를 수행하였다. 척박지 시험 포장을 조성하기 위해 산흙을 이용하여 경작지를 복토하였다. 척박지 시험 포장의 토양 pH는 5.3으로 일반경작지(pH 7.0)에 비해 산성이고 공시토양의 화학적 특성은 Table 1과 같다.

총 질소(TKN), 암모늄질소(TAN), pH 및 EC 측정은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2012)에 준하였으며, 이 외 LOI와 OM은 Kim *et al.* (2011)에서 제시한 분석법을 이용하였다.

실험 재료 및 처리구 조성

본 연구의 시험 품종은 국내 육성 보급종인 광평옥, 다청옥, 신히양2호를 이용하였다. 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 하였고, 각 처리구별 면적은 9.6 m², 재식거리는 60 × 30 cm 간격으로 1주 1립으로 직접 파종하였다. 물 관리는 분수 호스를 설치하여 옥수수 파종 후 일주일 동안에 땅이 충분히 젖을 수 있도록 공급하였으며, 옥수수 발아 후에는 토양 수분 상태에 따라 시험 포장 별로 균일하게 관수하였다. 이후 옥수수 생식생장기와 수확기까지 인위적인 관수 없이 자연 강우에 의존하였다.

본 연구에서는 유기질 비료로 시판용 가축분 퇴비1등급(고양시 농축협자원순환센터, 성분: 계분 30%, 우분 10%, 돈분 10%, 유기물 55%이상)을 사용하였다. 척박지 연구

Table 1. Comparison of soil chemical properties of the barren field before and after manure compost application.

Soil	Before cultivation		After cultivation		
	Cultivated land	Barren land	Manure 1,500 kg	Manure 1,000 kg	Manure 0 kg
pH (H ₂ O, 1:5)	7.0	5.3	5.5	5.3	4.8
EC (ds m ⁻¹)	2.04	0.23	0.21	0.19	0.13
TKN (mg N kg ⁻¹)	1267.00	104.35	321.06	291.88	186.80
TAN (mg N kg ⁻¹)	125.00	13.40	43.80	35.03	20.43
LOI (%)	5.99	4.39	4.52	4.41	4.56
OM (g kg ⁻¹)	33.91	16.48	17.82	16.65	18.24

EC, electric conductivity; TKN, total Kjeldahl nitrogen; TAN, total ammoniacal nitrogen; LOI, loss of ignition; OM, organic matter.

포장의 처리구는 시판용 가축분 퇴비와 화학비료(NPK)를 혼합하여 옥수수 파종 전 기비하였다. 화학비료 N (요소: 질소 46%, 질소 9.2 kg), P (용성인비: 인산 17%, 인산 3.4 kg), K (염화칼리: 칼리 60%, 칼리 12 kg)는 각각 구매하여 표준 시비량을 기준으로 무게를 계산하였다. 처리구는 퇴비 무처리(0 kg/10a), 퇴비 1,000 처리(1,000 kg/10a), 퇴비 1,500 처리(1,500 kg/10a)로 설정하였으며, 각 처리구별 퇴비와 화학비료를 혼합하여 시비하였다. 화학비료의 시비 방법은 종실용 관행시비법을 이용하였으며 표준시비(N:P:K=17.4:3:6.9 kg/10a)를 1로 기준하여 0.6배, 0.3배로 무기질비료를 줄여서 각 퇴비 처리구에 시비하였다. 이 때 기비로 질소는 50%, 인산과 칼리는 전량 공급하였다. 추비는 옥수수 생장 단계의 7~8엽 시기에 질소 시비만 1회 실시하였고, 나머지 50%를 공급하였다.

생육 및 수량 조사

옥수수의 초장 및 엽록소는 생육 초기인 6~7엽기에서 측정하였다. 초장은 지면에서 최장엽 선단까지의 길이를 측정하였고, 엽록소는 SPAD 502 Chlorophyll Meter (Konica Minolta, Japan)를 사용해 측정하였다. 옥수수 생육 및 수량 조사는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2012)에 따라 생육 특성(출사기, 간장, 착수고)과 수량구성 요소(100립중, 수량)를 조사하였다. 출사기는 이삭의 수염(silk)이 포엽 밖으로 2~3 cm 나온 개체가 50%인 날을 관찰하였다. 간장과 착수고는 출사기 이후에 조사하였으며, 간장은 지면에서 수이삭(tassel) 목까지의 길이를 측정하였고, 착수고는 지면에서 맨 위 이삭이 달린 마디까지의 길이

를 측정하였다. 백립중과 수량은 수분 15.5%에서 각각 종실 100립의 무게(g)와 건조 및 탈립 후 종실무게(kg)를 측정하였고, 10a당 단위로 환산하였다.

통계분석

본 연구에서 생육 및 수확 후 조사 항목의 데이터는 IBM SPSS Statistics (SPSS version 27, SPSS Inc., USA) 프로그램을 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 수행하였으며, 사후 검정으로 Duncan's Multiple Range Test를 이용하여 5% ($p \leq 0.05$) 유의 수준에서 처리 간 효과를 분석하였다.

결과 및 고찰

척박지 시험포장에서 시험 후 토양성분 분석

시험 전 척박지의 TKN과 TAN은 각각 104.35 mg N kg⁻¹와 13.40 mg N kg⁻¹으로 일반경작지에 비해 총 질소 및 암모니아성 질소 성분이 낮았고, 토양 pH는 일반경작지에 비해 산성(pH5.3)임을 확인하였다(Table 1). 척박지에서 시험 후 토양성분을 시험 전 토양성분과 비교했을 때 대체적으로 수치가 높아졌으나, 일반 경작지에 비해 여전히 낮았다(Table 1). 척박지에서 시험 후 퇴비 살포 유무에 따른 처리구의 토양을 분류하여 조사하였다. 시험 후 퇴비 처리구의 토양 pH는 5.3~5.5로 시험 전과 거의 동일하게 유지되었으며, 퇴비 무처리구의 pH만 4.8로 더 떨어졌다. Ok *et al.* (2015)의 연구에 따르면 새로 개간된 지역의 시험 토양의 무기성분은 일반 밭 토양 화학성분의 최적 범위에 비해 상

대적으로 낮았다고 보고했다. pH는 약 5.31~5.67로 약산성, 전기전도도(EC)는 0.27~0.51 dS/m 범위였고, 특히 신규 개간지(OM: 0.70~0.96%, Av.P₂O₅: 18.79~27.13 mg/kg)의 유기물 함량(OM)과 유효인산(Av.P₂O₅)은 일반적인 밭토양(OM: 2.0~3.0%, Av.P₂O₅: 300~500 mg/kg) 화학성분의 최적 범위와 비교했을 때 낮았다. Byeon *et al.* (2022)은 시험 후 토양의 화학성분을 분석한 결과, 화학비료 처리는 시험 전보다 토양의 pH가 낮아진 반면 퇴비 처리는 화학비료에 비해 시험 전 pH와 유사하고 대조군보다는 높았다고 보고했다. 본 연구에서 시험 후 퇴비처리한 척박지의 토양성분을 조사한 결과, pH 5.3~5.5, 유기물 함량(OM)은 16.65~17.82 g/kg으로 퇴비를 처리했지만 일반 경작지(pH 7.0, OM: 33.91 g/kg)에 비해 여전히 낮은 수치로 분석되었다. 퇴비를 처리한 척박지에서 여전히 일반 경작지에 비해 수치가 낮은 이유는 퇴비 처리 전 척박지 조건이 작물을 재배하기 어려운 조건이었기 때문에 단 기간에 척박지를 비옥하게 개선하는 것은 힘들다고 생각된다. Oh *et al.* (2022)에 의하면 새만금간척지의 조기 숙전화를 위해 퇴비와 화학비료를 혼합시비 했을 때 1년차에는 퇴비혼합시비 효과가 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 2년차부터 옥수수 수량에 영향을 미쳤다고 보고했다. 이것은 간척지에 퇴비와 화학비료를 함께 사용하면 토양 유기물 함량이 꾸준히 증가하여 옥수수 생산성을 높이는 데 유리한 것으로 판단된다.

시험 후 전반적으로 척박지에 퇴비를 살포한 토양에서 TKN과 TAN이 퇴비 무처리 토양보다 높게 나타났다. 퇴비

1,500 kg/10a 처리구에서는 TKN과 TAN이 각각 321.06 mg N kg⁻¹과 43.80 mg N kg⁻¹으로 다른 퇴비 처리구(1,000 kg/10a)보다 높았으며, 특히 퇴비 무처리구(0 kg/10a)에 비해 각각 약 1.7배와 2.1배 높았다. 물론 일반 경작지(control) 보다는 훨씬 못 미치는 양이지만, 척박지에 유기물(퇴비) 비료를 살포함에 따라 TKN과 TAN이 증가하여 지력을 보완해 준 것으로 보인다. Mulyati *et al.* (2021)의 따르면 유기질 비료 시용이 토양 pH와 양이온 교환 능력(CEC)에 유의한 차이가 보였고, 토양 pH가 산성에서 중성으로 증가하면 토양의 영양소 가용성에 영향을 미치고, 토양 내 CEC가 증가하면 영양소 보유를 개선하고 영양소 손실을 줄여 토양 비옥도를 향상시킬 수 있다고 보고했다. 한편 토양 유기물은 토양 비옥도를 유지하기 위해 미생물에 의해 분해된 후 식물 필수 영양소의 중요한 공급원이다. 또한 토양 유기물은 토양 미생물과 동물의 먹이가 되고, 식물 영양분을 제공하며, 적용된 비료의 유지와 순환을 촉진하기도 한다(Haynes & Naidu, 1998).

척박지에서 퇴비량에 따른 옥수수 초기 생육

퇴비량과 화학비료의 시비가 척박지에서 옥수수 초기 성장에 미치는 영향을 확인하였다. 조사 기준은 퇴비 공급(1,500, 1,000 kg/10a)과 표준시비(1, 0.6)를 처리한 실험구에서 성장한 옥수수를 기준으로 하여 6~7엽기에 초장을 측정하였다. 일반적으로 척박한 토양에서도 퇴비량이 많을수록 품종에 관계없이 옥수수 초기 생육이 양호하게 성장하였다(Fig. 1). 반면 척박지에 퇴비를 처리하지 않은 무처리

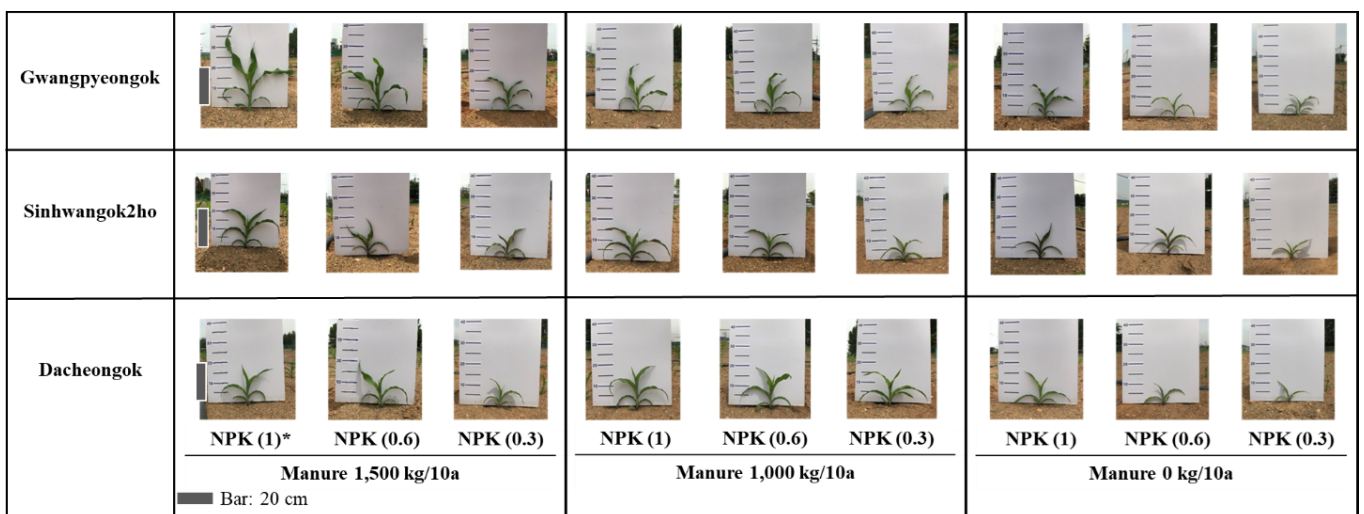


Fig. 1. Early maize growth at the 6-7 leaf stage following manure compost and chemical fertilizer treatments. * 1, Standard fertilizer application (N:P:K = 17.4:3:6.9 kg/10a); 0.6, application of 2/3 of standard fertilizer; 0.3, application of 1/3 of standard fertilizer.

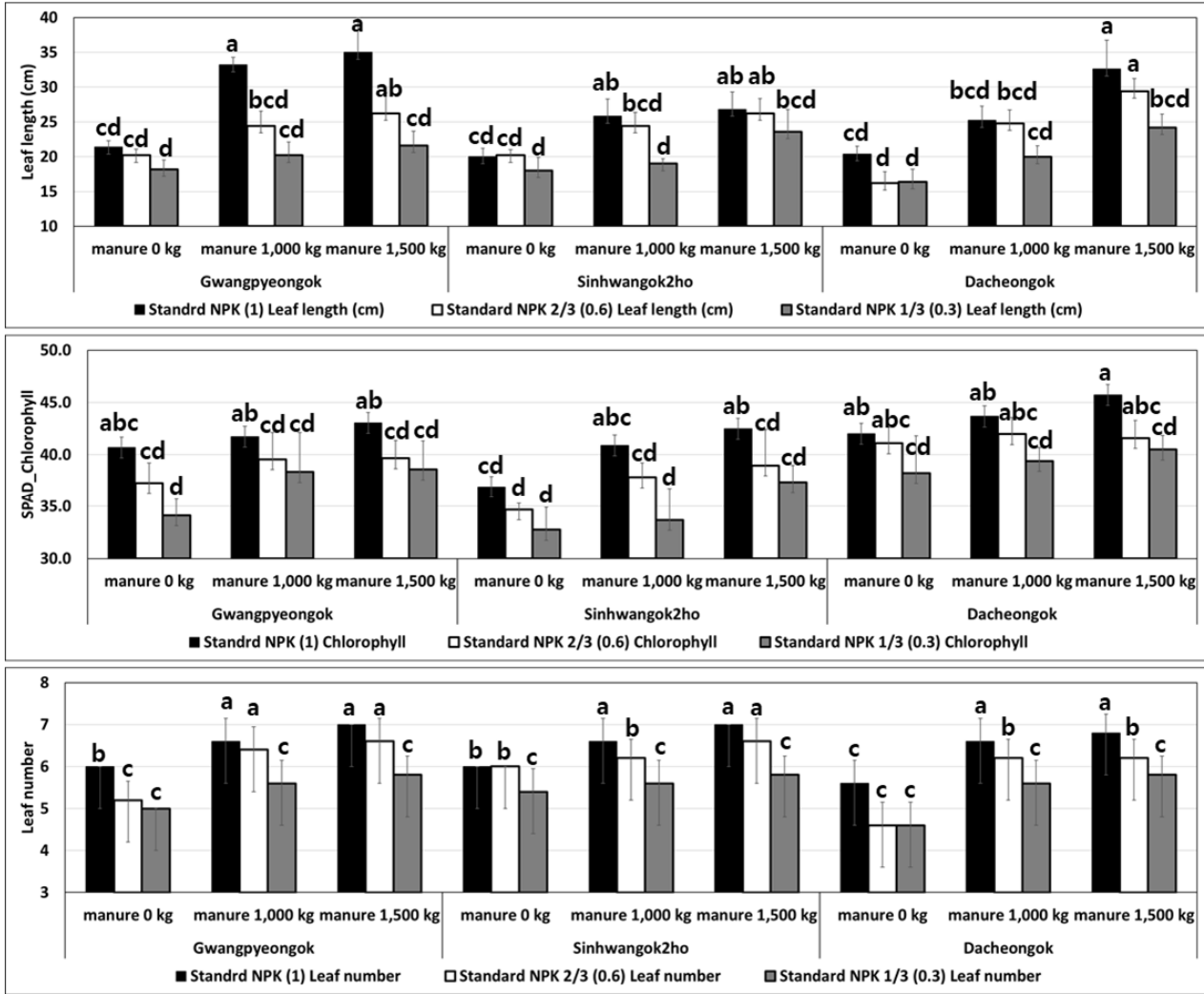


Fig. 2. Measurement of leaf length, SPAD (chlorophyll), and leaf number in early maize growth following manure treatment in barren soils. Different letters for each bar indicate a significant difference at $P < 0.05$ using the Duncan's multiple range test.

시험포장에서는 모든 품종에서 초기 생육이 부진한 것으로 나타났다. 퇴비 무처리구에 표준시비/3 (0.3)을 사용한 경우, 다른 처리구에 비해 초장이 짧고 엽수도 1~2개 적어 옥수수 초기 성장에 영양적으로 불충분한 것으로 나타났다. 하지만 퇴비 무처리구에 표준시비(1)를 사용한 경우, 옥수수의 초기 성장은 다른 퇴비 처리구(표준시비/3 사용)에서 자란 옥수수와 거의 같은 크기였다.

An *et al.* (2022)은 파종 후 40일경에 옥수수의 전반적인 생육(엽수, 초장, 경태 등)을 평가하여 시비 처리가 무시비 처리보다 옥수수의 전반적인 생육을 향상시키는 것을 확인했다. 또한 퇴비를 시비한 경우(NPK+퇴비)가 무기질 비료의 양이 적음에도 불구하고 NPK만 시비한 경우보다 생육이 좋았다는 것을 확인했다. 본 연구에서도 모든 품종의 옥

수수 초기 생육은 퇴비 처리 없이 단일 비료 처리(NPK)를 한 것보다 퇴비와 NPK를 함께 시비했을 때 더 좋았다(Fig. 1). 이러한 결과는 유기질 비료 투입을 통해 작물이 질소를 이용할 수 있는 기간이 길어지고(Liu *et al.*, 2021), 토양 내 유기물 함량 증가로 인한 미생물 활동 및 다양성 증가로 영양 순환이 개선되었고(Watts *et al.*, 2010), 토양 구조 및 수분 보유력이 개선(Naveed *et al.*, 2014)되었기 때문에 초기 생육에 영향을 미친 것으로 생각된다.

특히 표준시비(NPK: 1)와 혼합한 퇴비 처리구(1,500 kg/10a)에서는 모든 품종의 옥수수 초기 생육이 퇴비 무처리구(0 kg/10a)에 비해 평균적으로 7~14 cm 더 길었다(Fig. 2). 척박지에서 옥수수를 재배할 때는 시비도 중요하지만, 초기 생육기에 안정적인 옥수수 성장을 위해서는 기본적으로 유

기질 비료인 퇴비를 공급해야 한다는 사실을 발견했다. 옥수수 생육 초기의 엽록소 수준은 처리 간에 큰 차이가 없었지만 전반적으로 퇴비량이 많을수록 모든 품종에서 엽록소 수준이 높았다(Fig. 2). 반면 퇴비를 사용하지 않은 무처리구의 엽록소 수치는 전체적으로 퇴비 처리구보다 모두 낮았다. 또한 생육 초기의 엽록소 수준을 퇴비 처리와 비교했을 때, 퇴비 무처리구에서 옥수수 생육이 더 저조하고 키도 작았다(Figs. 1 & 2). *Byeon et al.* (2022)은 한우 퇴비와 화학비료 처리구에서 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 엽수, SPAD (chlorophyll) 등을 측정한 결과 화학비료 처리구와 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 무처리구(퇴비 및 화학비료 미처리)는 화학비료 처리구보다 출용기 및 출사일수가 늦었으며, 초장이 짧은 것은 생육에 필요한 영양분이 부족했기 때문이라고 분석했다.

한편 본 연구에서 퇴비 처리구(1,500, 1,000 kg/10a)에 표준시비(1)를 사용한 포장에서 품종끼리 비교했을 때 광평옥의 초기 생육 길이가 다른 품종들에 비해 길었고, 표준시비 2/3 (0.6)와 표준시비 1/3 (0.3)에서는 차이가 없었다. 광평옥의 초기 생육은 Fig. 1에서도 확인할 수 있다. 특히 퇴비 1,500 kg 처리구(표준시비 1, 표준시비 2/3 포함)에서 광평옥은 다른 품종에 비해 초기 생육 상태가 커 보인다. 광평옥이 다른 품종보다 초기 생육 길이가 긴 이유는 정확하게 밝혀져 있지 않지만, 일반적으로 광평옥(중만생종)은 초기 생육이 빠른 편이며 수확기까지 녹색 잎을 유지하는 후기 녹색성이 우수한 품종이다. 따라서 광평옥은 퇴비와 비료의 공급이 원활한 처리구에서 좀 더 빠르게 초기 생육이 진행되었을 것으로 보인다.

퇴비와 화학비료의 혼용에 따른 옥수수 생육 및 수량 조사 비교

척박지에서 재배한 옥수수 생육 특성은 Table 2와 같다. 먼저 출사 일수를 살펴보면 조숙종(조생종)인 신황옥2호는 모든 퇴비 처리구(퇴비 1,500, 1,000 kg/10a)에서 64~65일로 가장 짧은 출사일을 보였으나, 퇴비 무처리구(퇴비 0 kg/10a)에서는 75일로 약 10일 정도의 차이를 보였다. 반면 광평옥과 다청옥은 모든 퇴비 처리구에서 72~78일로 신황옥2호보다 출사기가 8~13일 정도 늦게 출현했다. 일반적으로 광평옥과 다청옥은 각각 중만생종과 중생종으로 신황옥2호보다는 출사 일수가 늦은 편이다.

한편 광평옥과 다청옥도 퇴비 무처리구에서 출사 일수가 84~87일로 길었으며, 특히 다청옥은 퇴비 무처리구(표준시비 1/3 사용)에서 87일로 출사기가 가장 길었다. 이것은 유기질 비료가 없는 토양에서는 화학비료를 표준시비(1)를

사용하더라도 옥수수가 충분한 영양분을 공급받지 못하기 때문에 초기 생육이 저해되고 출사기까지 늦어지는 결과이다. 유기질 비료는 토양에 뿌려진 후 분해되어 식물 영양분, 특히 질소의 공급원이 되며 유기물 함량, 양이온 교환 능력, 온도, 수분 보유, 미생물 활동 등 토양 상태를 개선하는 데 효과적이다(Stevenson, 1994). 따라서 척박한 토양의 유기물 함량을 높여 양분의 유실을 줄이기 위해 토양 개량이 필요하다.

간장의 경우 생육초기에는 퇴비 처리구(1,500, 1,000 kg/10a)와 화학비료(NPK)를 함께 혼용한 시험구가 퇴비 무처리구보다 초장이 길거나 생육이 빨랐으나, 생육이 진행되면서 퇴비 처리구와 무처리 간 차이가 거의 없었으며, 특히 광평옥은 퇴비 처리구(1,500, 1,000 kg/10a)와 무처리구(0 kg/10a) 간에 유의한 차이가 없었다. 반면 다청옥과 신황옥2호는 퇴비 무처리구에서 간장이 대부분 200 cm 이하(다청옥, 표준시비 1 제외: 203 cm)로 퇴비 처리구와 비교하여 유의성을 나타냈다.

한편 퇴비 처리구에서는 퇴비량이 많을수록 수량이 증가했으며, 표준시비(1)에 비해 시비량이 감소하면 수량도 감소하는 것으로 나타났다. 특히 신황옥2호는 퇴비 처리구(1,000 kg/10a)에서 시비량(표준시비 1/3)이 감소할수록 수량이 감소하였고 처리 간 유의한 차이를 보였다. 하지만 퇴비 무처리구(0 kg/10a)에서는 전반적으로 퇴비를 공급한 처리구보다 수량이 감소하였다. 특히 다청옥은 퇴비 무처리구에서 수량이 표준시비(1)에서 531.6 kg/10a, 표준시비 2/3에서 370.8 kg/10a, 표준시비 1/3에서 248.3 kg/10a으로 다른 품종들에 비해 크게 감소하였고, 다른 처리구와 비교하여 유의성이 보였다. 본 연구결과와 비슷한 *An et al.* (2022)에 따르면 옥수수 수확량은 무시비 대비 비료 시비에 따라 유의미한 증가를 확인했다. 특히 퇴비와 혼합한 NPK 처리구에서 가장 수확량이 높았고, 무기질 비료 단독 처리구와 비교했을 때 비슷하게 충분한 수량을 확보할 수 있다는 점에서 의의가 있다. 또한 *Mulyati et al.* (2021)은 무기질 비료와 유기질 비료를 함께 사용하면 식물 성장률과 수확량 증가를 포함한 옥수수 성장에 상당한 영향을 미친다고 보고했다. 다만 무기질 비료 150 kg/ha과 유기질 비료 10 ton/ha을 함께 사용했을 때, 식물 성장률, 잎 수, 백립중의 무게는 무기질 비료 300 kg/ha과 유기질 비료 20 ton/ha을 함께 주었을 때와 차이를 보이지 않았지만, 적정량의 유기질 비료와 무기질 비료를 함께 사용하면 시너지 효과가 있다는 것을 보여줬다. 본 연구에서도 퇴비 1,500 kg/10a과 화학비료(표준시비: 1, 0.6)를 함께 사용한 처리구와 퇴비 1,000 kg/10a과 화학비료(표준시비: 1, 0.6)를 함께 사용한 처리구를 비교했

Table 2. Comparison of agronomic characteristics of maize according to manure compost amount in barren land.

Manure compost (kg/10a)	Fertilizer (N-P-K=17.4-3-6.9 kg/10a)		Variety	Days to silking date (d)	Plant height (cm)	Weight of 100 grains (g)	Yield (kg/10a)
1,500	1		Gwangpyeongok	74	268a*	31.7a	965.5±38a
			Dacheongok	74	362a	33.9a	1085.2±72a
			Sinhwangok2ho	64	209b	33.3a	892.6±63a
	2/3		Gwangpyeongok	73	270a	32.3a	907.8±84a
			Dacheongok	74	242ab	33.1a	1035.8±55a
			Sinhwangok2ho	64	212ab	33.3a	842.6±42ab
	1/3		Gwangpyeongok	77	252a	30.5ab	853.0±68ab
			Dacheongok	74	222ab	31.2ab	782.7±32abc
			Sinhwangok2ho	65	193b	29.6abc	718.9±19bcd
1,000	1		Gwangpyeongok	72	271a	31.7a	932.2±46a
			Dacheongok	73	243ab	37.5a	1066.0±46a
			Sinhwangok2ho	64	219ab	33.5a	910.5±80a
	2/3		Gwangpyeongok	74	267a	31.3ab	869.0±64a
			Dacheongok	75	233ab	31.6a	912.0±53a
			Sinhwangok2ho	64	213ab	31ab	831.2±27ab
	1/3		Gwangpyeongok	77	229ab	27.9bc	780.4±70abc
			Dacheongok	78	211ab	29.8abc	738.4±22abc
			Sinhwangok2ho	65	191b	28.5bc	685.6±49bcd
1		Gwangpyeongok	84	225ab	28.5bc	777.4±02abc	
		Dacheongok	85	203b	25.7c	531.6±19de	
		Sinhwangok2ho	75	185b	30.7ab	668.3±27bcd	
0	2/3		Gwangpyeongok	85	224ab	26.3 c	659.9±27cd
			Dacheongok	86	189b	24.9c	370.8±77e
			Sinhwangok2ho	75	176b	29.9abc	618.6±71cd
	1/3		Gwangpyeongok	86	196b	24.2c	540.3±60de
			Dacheongok	87	178b	18.6d	248.3±24e
			Sinhwangok2ho	75	166b	25c	463.8±80de

Data represent the mean ± SD of three replicates. *Values with the same lowercase letter in a column are not significantly different at $P < 0.05$ using the Duncan's multiple range test.

을 때, 출사기, 간장, 백립중 및 수확량은 큰 차이가 없었다 (Table 2). 하지만 이와 같은 결과는 척박지에 기본적으로 최소한의 퇴비와 화학비료를 혼합사용하면 옥수수의 안정적인 생산 기반을 확립하는데 기여할 수 있다고 판단된다.

본 연구에서 옥수수는 성장의 모든 측면에서 유기물(퇴비) 비료의 영향이 미치는 것으로 확인했고, 특히 척박하고 열악한 토양에서 옥수수를 재배하는 경우 안정적이고 충분한 옥수수 수확량을 확보하기 위해 최소 1,000 kg/10a의 퇴비와 표준시비 2/3 (0.6)의 화학비료를 함께 사용해야 시비

의 효과가 있는 것을 확인했다(Table 2). Table 2에서 퇴비 처리구 1,500 kg과 1,000 kg/10a을 비교한 결과 통계적으로 유의한 차이가 보이지 않았고, 각 품종 별 수량도 차이가 없었다. 즉 퇴비 처리구 간에 결과적으로 큰 차이가 없으므로 최소 퇴비 1,000 kg/10a을 처리하면 퇴비를 구매하는 데 비용 절감 효과가 있을 것이다. 결과적으로 유기질 비료(퇴비)와 무기질 비료(NPK)의 조합은 질소 손실을 줄이고 생산성과 토질을 개선하는 데 현명한 시비 방법이 될 수 있다(An *et al.*, 2022).

적 요

본 연구는 척박한 토양에서 퇴비 함량이 옥수수의 초기 생육에 미치는 영향을 조사하고, 척박지에서 옥수수 수확량을 늘리기 위한 재배 기술에 대한 정보를 제공하고자 수행되었다.

- 1) 척박한 토양에 퇴비량이 많을수록 품종에 관계없이 옥수수가 양호하게 성장하였으나, 척박지에 퇴비를 처리하지 않은 무처리 시험포장에서는 모든 품종에서 초기 생육이 부진한 것으로 나타났다. 기본적으로 유기질 비료인 퇴비는 옥수수 성장을 위해 반드시 공급해야 한다는 사실을 발견했다.
- 2) 신허옥2호(조숙종/조생종)는 모든 퇴비 처리구(1,500, 1,000 kg/10a)에서 64~65일로 가장 짧은 출사일을 보였으나, 퇴비 무처리구(퇴비 0 kg/10a)에서는 75일로 약 10일 정도의 차이를 보였다. 반면 광평옥(중생종)과 다청옥(중만생종)은 모든 퇴비 처리구에서 72~78일로 신허옥2호보다 출사기가 8~13일 정도 늦게 출현했다.
- 3) 퇴비 처리구(1,500, 1,000 kg/10a)에서는 퇴비량이 많을수록 종실중이 증가했고, 표준시비(1)에 비해 시비량이 감소하면 종실중도 감소했다. 반면, 퇴비 무처리구(0 kg/10a)에서는 퇴비 처리구(1,500, 1,000 kg/10a)에 비해 전반적으로 종실중이 감소했다.
- 4) 옥수수는 성장의 모든 측면에서 유기물(퇴비) 비료의 영향이 미치는 것으로 확인하였으며, 특히 척박하고 열악한 토양에서 옥수수를 재배하는 경우 안정적인 옥수수 수확량을 확보하기 위해 최소 1,000 kg/10a의 퇴비와 표준시비2/3 (화학비료)를 사용해야 한다는 사실을 확인했다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ016265 022023)의 지원을 받아 연구되었음.

인용문헌(REFERENCES)

Ahn, T., D. Kim, H. Lee, H. Shin, and E. Chung. 2021. A study on the nutrient composition and heavy metal contents in livestock manure compost · liquefied fertilizer. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 37(4) : 306-314.

An, H., S. Bae, Y. Lee, H. Lee, S. H. Jeon, and S. Y. Kim. 2022. Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on mitigating greenhouse gas emissions and

improving maize productivity in a field condition. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 55(4) : 261-272.

Bray, R. H. and I. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*. 59(1) : 39-45.

Byeon, J.-E., J. K. Lee, M.-S. Park, N. Y. Jo, S.-R. Kim, S.-H. Hong, B.-O Lee, M.-G. Lee, and S.-G. Hwang. 2022. Influence of Hanwoo (Korean native cattle) manure compost application in soil on the growth of maize (*Zea mays* L.). *Korean Journal of Crop Science*. 67(3) : 164-171.

Choi, B. S., W. T. Jeon., Y. H. Lee., M. T. Kim., S. P. Eum., G. J. Oh., H. S. Cho., T. S. Park, and K. Y. Seong. 2011. Weed population and rice yield in organic rice-green manure crops rotation system. *Korean Journal of Weed Science*. 31(4) : 360-367.

Enujeke, E. C. 2013. Response of grain weight of maize to variety, organic manure and inorganic fertilizer in Asaba area of Delta state. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*. 3(5) : 234-248.

Haynes, R. J. and R. Naidu. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 51 : 123-137.

Khaliq, T., T. Mahmood, and A. Masood. 2004. Effectiveness of farmyard manure, poultry manure and nitrogen for corn (*Zea mays* L.) productivity. *International Journal of Agriculture and Biology*. 6(2) : 260-263.

Kim, S. -H., J.-U. Lee, M.-S. Ko, Y.-H. Yun, J.-S. Lee, and S.-J. Hong. 2011. The effects of carbon sources supply to contaminated soil in the vicinity of Pung jeong mine on geomicrobiological behavior of heavy metals and arsenic. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*. 48(5) : 584-597.

Kim, S.-R., S.-C. Lee, J.-W. Jung, S.-H. Park, S.-H. Hong, B.-O Lee, H.-S. Choi, and M.-G. Lee. 2023. Characteristics of compost produced from Hanwoo (Korean native cattle) farm. *Journal of Animal Environmental Science*. 25(1) : 22-28.

Kolawole, G. O. 2014. Effect of time of poultry manure application on the performance of maize in Ogbmoso, Oyo State, Nigeria. *Journal of Applied Agriculture Research*. 6(1) : 253-258.

Lee, J.-E. and S.-I. Yun. 2014. Effects of compost and gypsum on soil water movement and retention of a reclaimed tidal land. *Korean Society of Soil Science and Fertilizer*. 47(5) : 340-344.

Lee, S. H., B. D. Hong, Y. An, and H. M. Ro. 2003. Relation between growth condition of six upland-crops and soil salinity in reclaimed land. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 36 : 66-71.

Lee, S., G. Jeong, D. Lee, D. Lee, and J. Kwag. 2020. Evaluation of parameters affecting composting of Hanwoo manure. *Journal of Korea Society of Waste Management*. 37(2) : 124-132.

- Lee, Y. H., S. M. Lee, J. K. Sung, D. H. Choi, H. M. Kim, and G. H. Ryu. 2006. Development of soil management technique in organic rice cultivation. *The Korean Journal of Organic Agriculture*. 14(2) : 205-217.
- Lee, Y.-J., H.-B. Yun, Y.-S. Song, C.-H. Lee, J.-K. Sung, and S.-K. Ha. 2015. Effects of organic matter sources on nitrogen supply potential in arable land. *CNU Journal of Agricultural Science*. 42(4) : 431-437.
- Liu, B., X. Wang, L. Ma, D. Chadwick, and X. Chen. 2021. Combined applications of organic and synthetic nitrogen fertilizers for improving crop yield and reducing reactive nitrogen losses from China's vegetable systems: A meta-analysis. *Environmental Pollution*. 269 : 116143.
- Mulyati, A., B. Baharuddin, and R. S. Tejowulan. 2021. Improving Maize (*Zea mays* L.) growth and yield by the application of inorganic and organic fertilizers plus. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 721 : 012027
- Naveed, M., P. Moldrup, H. J. Vogel, M. Lamande, D. Wildenschild, M. Tuller, and L. W. de Jonge. 2014. Impact of long-term fertilization practice on soil structure evolution. *Geoderma*. 217-218(3) : 181-189.
- Nwodoka, F. C., C. I. Chukwuma, and O. J. Camron. 2016. Effect of organic manure cow dung and inorganic fertilizer N. P. K on the growth rate of maize. *Advances in Agricultural Science*. 2(8) : 156-159.
- Oh, Y. Y., H. K. Ock, J. H. Ryu, S. H. Lee, H. S. Lee, K. S. Lee, K. H. Jung, S. Y. Yoo, T. W. Kim, and K. Y. Kim. 2022. Soil properties and maize growth affected by soil nutrient sanagement practices in saemangeum reclaimed land. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 55(2) : 102-112.
- 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(4) : 813-827.
- Rural Development Administration (RDA). 2012. *Agricultural science and technology of analysis based on research*. National Institute of Crop Science, Korea. pp. 16-17, 336, 372.
- Rural Development Administration, Agricultural Technology Institute. 1989. *Experimental research report-Chemistry section* (In Korean).
- Ryu, J. H., S. H. Lee, Y. Y. Oh, and B. H. Kang. 2021. Effect of gypsum application and subsoiling on soil physico-chemical property of Saemangeum reclaimed tide land. *Korean Society of Soil Science and Fertilizer*. 54(1) : 48-57.
- Stevenson, F. J. 1994. *Humus chemistry: Genesis, composition, Reactions* (2nd Edition). John Wiley and Sons. Inc., New York.
- Tambone, F., P. Genevini, and F. Adani. 2007. The effects of short-term compost application on soil chemical properties and on nutritional status of maize plant. *Compost Science & Utilization*. 15(3) : 176-183.
- Thomson, W. 2007. *The control of soil fertilizer*. London Crosby Lockwood Ltd. pp. 15-18.
- Watts, D. B., H. A. Torbert, Y. Feng, and S. A. Prior. 2010. Soil microbial community dynamics as influenced by composted dairy manure, soil properties, and landscape position. *Soil Science*. 175(10) : 474-486.
- Zhang, Y. S., G. J. Lee, J. H. Joo, J. T. Lee, J. H. Ahn, and C. S. Park. 2007. Effect of winter Rye cultivation to improve soil fertility and crop production in Alpine upland in Korea. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 26(4) : 300-305.