

콩을 이용한 장기간의 윤작이 토양 화학성과 작물 생산량에 미치는 영향

김소희¹, 황현영², 이상민², 안난희², 이초롱^{2*}

Effect of Long-Term Crop Rotation with Beans on Soil Chemistry and Production Efficiency

So-Hui Kim ¹, Hyung-Young Hwang ², Sang-Min Lee ², Nan-Hee An ² and Cho-Rong Lee ^{2*}

¹국립농업과학원 환경부 토양비료과, ²국립농업과학원 환경부 유기농업과

¹Division of Soil and Fertilizer, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea, ²Organic Agriculture Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

* Correspondence: echrong@korea.kr

Abstract: Compost supplies nutrients and improves soil physical properties, but excessive use can lead to nutrient imbalances and environmental pollution. Crop rotation, particularly including soybean crops, is effective in supporting nutrient cycling and maintaining crop productivity through nitrogen fixation and phosphorus availability. This study investigated whether crop rotation including soybean crops, compared to compost input, enhances soil fertility and maintains crop productivity. The treatments included monoculture without nutrient treatment (CN-NC), monoculture with compost application (COM-NC), and compost application with crop rotation involving soybeans (COM-CR). The analysis results showed that in the COM-CR, which received a lower amount of compost input, the exchangeable cation content increased by 3-17% compared to the COM-NC. The soil organic matter content in the COM-CR was 23 g/kg and the available phosphorus was 155 mg/kg, which were higher than those observed in the COM-NC. Furthermore, nutrient uptake in the crop rotation system increased by 0.1 to 1.2% compared to monoculture, and crop yield was the highest (986kg/10a). These findings indicate that long-term crop rotation with soybeans effectively maintains soil nutrient levels and crop yield compared to continuous corn monoculture, while reducing the need for compost input.

Keywords: Corn, Crop rotation, Organic matter, Production Efficiency, SoyBean

<https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.43>

Korean J. Environ. Agric. 2024, 43, 435-442

Received: December 5, 2024
Revised: December 17, 2024
Accepted: December 21, 2024
Published: December 24, 2024

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537



Check for
updates

© The Korean Society of Environmental Agriculture 2024



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

토양의 양분 관리는 작물 생산과 토양의 건강을 유지하는데 필수적이며[1], 유기물 투입은 작물 생산량과 상품성을 향상시키기 위해 사용되었다. 가축분퇴비는 토양에 유기물과 다양한 양분을 공급하며, 토양의 유기물을 증가시키고, 용적밀도, 입단 및 보수력과 같은 물리적인 특성을 향상시킨다[2]. 이에 농가들은 높은 작물 생산량을 위해 가축분퇴비를 매년 투입하고 있으며, 이로 인해 토양의 양분 집적과

토양 알칼리화 등이 발생하고 있다[5]. 가축분퇴비의 경우 인과 칼륨을 다량의 함유한 비료이기 때문에 질소 수요에 따라 적용 시 인산과 칼륨이 과잉 공급되어 토양에 특정 양분이 집적될 수 있다[3]. 또한, 가축분퇴비에 포함된 질소의 약 15%만이 작물에 이용 가능하기 때문에[4], 잔류한 질소는 질산염(NO_3^-)의 형태로 지하수로 용탈되거나 유실되어, 부영양화를 일으키는 등 환경오염을 유발할 우려가 있다[3]. 따라서 가축분퇴비 투입량이 감소하더라도 토양의 양분과 작물 수확량을 유지할 수 있는 농업방식에 대한 연구가 필요하다.

윤작은 같은 농지에서 서로 다른 작물을 재배하는 농업관리 기술이다. 제한된 면적에서 단일 작물을 장기간 재배 시 토양의 양분 불균형이 발생하고 작물 생산량이 감소하는데, 2개 이상의 작물 순환은 토양의 양분 불균형을 개선하고 미생물의 종 다양성 증가 등 토양의 질을 향상시킨다[6]. 또한, 윤작으로 인한 미생물의 활성 증대는 토양의 양분 순환에 기여하여 작물 생육과 양분 흡수 증가에도 효과적이다[7]. 특히, 콩과 작물을 포함한 윤작은 대기의 질소를 토양에 고정시켜 토양의 질소 함량을 증가시키고, 콩과 작물의 뿌리는 유기산을 방출하여 토양에 결합된 인을 가용화한다[8]. 콩과 작물의 윤작에 대한 국내 연구는 작물 생산과 미생물에 미치는 영향에 대한 결과는 많지만 단기 재배로 인해 콩 윤작에 따른 토양 화학성 변화에 대한 연구는 부족한 실정이며, 대부분의 연구들은 밭 토양이 아닌 논 토양에서 수행되었다[9,10].

가축분퇴비는 토양의 양분을 공급하고 물리적 특성을 개선하지만, 과도한 사용은 인과 칼륨의 과잉 공급, 질소 축적 및 환경오염과 같은 문제를 초래한다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 가축분퇴비의 투입량을 감소시키면서도 토양 양분과 작물 생산성을 유지하거나 증진할 수 있는 대안을 모색하고자 한다. 이에 본 연구에서는 장기간 콩과 작물을 이용한 윤작 재배가 옥수수 단작에 비해 토양의 양분과 작물 생산량 유지에 효과적인지 조사하고, 가축분퇴비에 대한 의존도를 감소시킬 수 있는지 확인하고자 한다.

재료 및 방법

시험 장소 및 설계

본 실험은 2015년에 조성된 유기농업 장기연용 시험포장(국립농업과학원 유기농업과)에서 수행되었다. 전북특별자치도 전주시 완산구에 있으며, 이 지역의 30년 연평균 기온은 13.8°C 이고, 연평균 강수량은 1,342 mm이다. 시험 전 토양의 화학성은 유기물 함량이 11 g/kg, 유효인산은 48 mg/kg으로 밭 토양의 적정범위에 해당하지 않는 토양이다(Table 1). 본 시험의 구획 사이즈는 $7\text{m} \times 14\text{m}$ (98 m^2)이다.

Table 1. Chemical properties of soil in 2015

	pH	EC ²⁾	OM ³⁾	Av. P_2O_5 ⁴⁾	K	Ca	Mg
	1:5	dS m^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}		cmol _c kg^{-1}	
Before	5.5	0.4	11	48	0.52	5.3	1.7
Upland ¹⁾	6.0-7.0	≤ 2.0	20-30	300-550	0.5-0.8	5.0-5.6	1.5-2.0

¹⁾ The optimal range for the chemical properties of upland soil; ²⁾ EC: electrical conductivity; ³⁾ OM: organic matter; ⁴⁾ Av. P_2O_5 : available phosphorous.

뜻거름작물 및 작물 재배

가축분퇴비를 투입하는 처리구(Compost, COM)는 돈분 50%, 계분 5%, 우분 10%, 톱밥 10%, 수피 5%로 구성된 시판용 가축분퇴비를 사용하였으며, 양분을 공급하지 않은 무처리구(CN-NC)를 제외한 모든 처리구는 화학비료 없이 가축분퇴비를 단독 시비하였다. 가축분퇴비 시비량을 산정하기 위해 가축분퇴비를 70°C 에 24시간 건조하여 가축분퇴비의 수분함량을 조사하였다. 건조한 가축분퇴비는 분쇄하여 원소분석기(Vario Max CN, Elementar, Germany)을 통해 질소 함량을 측정하였으며, 아래 식 (1)을 통해 가축분퇴비 투입량을 산정하였다.

$$\text{Amount of compost (kg/10a)} = \frac{\text{Ntrogen standard application amount (kg / 10a)}}{\text{N of dry compost (decimal)} * \text{Dry matter content of compost (decimal)}} \quad (1)$$

옥수수만 재배하는 단작 처리구는 무처리구(CN-NC)와 가축분퇴비로 양분을 공급하는 처리구(Compost-No crop rotation, COM-NC)이다. COM-NC는 옥수수의 질소표준시비량(N-P-K, 17.4-3.0-6.9 kg/10a) 기준으로 가축분퇴비를 시비하였으며, 작물 정식 7일 전에 전량 시비 후 경운하였다. 휴작기의 밭 재배는 토양의 침식을 방지하고, 토양의 다공성과 응집력을 향상시키는데 효과적이다. 이에 옥수수와 콩을 윤작하는 처리구(Compost-Crop rotation, COM-CR)는 휴작기에 밭을 재배하였으며 별도의 양분 공급 없이 재배하였다. 11월에 파종한 밭을 옥수수 정식 7일 전에 전량 예취 후 제거하였고, 옥수수 질소표준시비량에 맞춰 가축분퇴비를 투입하였다. 옥수수 수확 후 10월에 밭을 다시 파종하였으며, 다음연도 5월에 전량 예취 후 작물 정식 7일 전에 콩의 질소 표준시비량(N-P-K, 3.2-3.3-3.7 kg/10a)에 맞춰 가축분퇴비를 시비하였다. COM-CR과 COM-CN에 처리한 가축분퇴비의 투입량은 Table 2에 제시하였으며, 휴작기에 발생한 잡초도 모두 환원하였다(Table 2).

Table 2. Cultivated crop and fertilizer rate by the treatment

Treatment	Crop	Fertilizer	N-P-K (kg/10a)	Compost input (kg/10a)
CN-NC	Corn	-	-	-
COM-NC	Corn	Compost	17.4-3.0-6.9	1,258
COM-CR	Corn	Compost	17.4-3.0-6.9	1,258
	Soybean		3.2-3.3-3.7	145

모든 처리구는 찰옥 4호(*Zea mays* L.) 옥수수를 재배하였고, 5월에 모종을 정식하였으며 8월에 수확하였다. 콩은 대원 콩(*Soy bean* L. Daewon)을 재배하였으며 6월에 정식하여 10월에 수확하였다. 옥수수와 콩의 재식 길이는 각각 70 cm × 30 cm, 60 cm × 20 cm이며, 본 시험 처리구의 재배력을 Fig. 1에 제시하였다.

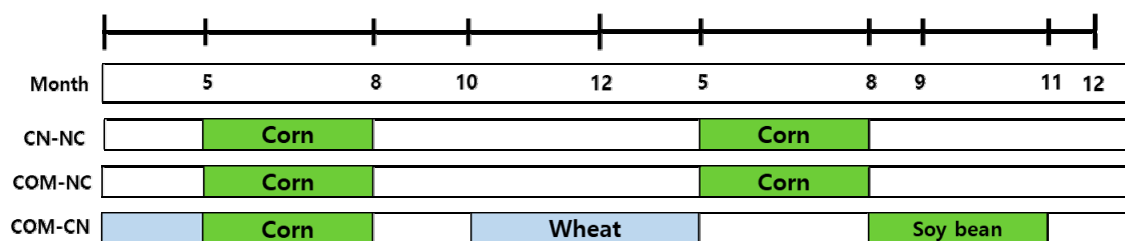


Fig 1. The cultivation periods of crop and green manure in experimental fields.

CN-NC: no fertilizer-corn and not crop rotation, COM-NC: compost and not crop rotation, COM-CN: compost and crop rotation to corn and soybean. COM-CR cultivated wheat during the fallow season and all the harvested wheat was removed.

토양 및 식물체 분석

토양의 화학성 분석을 위해 채취한 토양은 자연 건조하였으며, 2 mm으로 체질하여 균질화 후 분석하였다. 토양의 pH와 EC는 토양과 증류수의 비율을 1:5(w/w)로 혼합한 후 30분간 진탕하여 pH meter (Orion star pH conductivity meter A215, Thermo Scientific, USA)를 이용해 분석하였다. 토양의 유기물은 원소분석기(Vario Max CN, Elementar, Germany)를 이용하여 분석하였다. 토양의 유효인산의 경우 Lancaster법(NIAST, 2013)으로 분석하였고, 치환성 K, Ca, Mg는 1M-ammonium acetate (pH 7.0) 용액으로 침출하여 30분 동안 진탕 후 여과한 여과액을 Inductively coupled plasma spectrometry (ICP, Intergra XL Dual, GBC Scientific Equipment, Australia)를 사용하여 측정하였다. 작물 식물체의 무기성분 분석을 위해 매년 처리구 당 3주식

채취하였다. 채취한 식물체 시료는 70°C에서 3일간 건조한 후 분쇄하여 준비하였다. 식물체의 질소 함량은 분쇄한 식물체를 원소 분석기를 이용하여 분석하였으며, 식물체 시료는 산 분해용액(HClO₅:H₂SO₄=10:1)으로 Hotplate Digital (Ceramic HPLP 620, Scilab therm TM)에서 3시간 300°C 습식 분해하였다. 식물체의 인산은 Vanadate법(NIAST, 2013)을 UV (Optical spectrophotometer specord series, analytik jena, Germany)으로 분석하였으며, 칼륨은 ICP를 사용하여 측정하였다.

통계분석

실험에서 얻어진 데이터의 통계분석은 SAS software (version 7.1; SAS Institute, 1995)를 이용하여 one-way ANOVA 분석을 수행하였으며, 5% 유의수준에서 Duncan's Multiple Range Test [DMRT]를 이용하여 처리 간의 효과를 비교 검토하였다.

결과 및 고찰

토양의 pH, EC, 양이온 함량 변화

pH의 경우 가축분퇴비를 투입한 COM-NC와 COM-CR이 각각 7.5와 7.4로 2015년 대비 약 17~30% 증가하였으며(Fig. 2a), 두 개의 처리구에 대한 p값은 0.0003으로 토양의 pH 증가가 일관적이고 토양 pH의 상승에 기여하고 있음을 시사한다. 또한, COM-CR의 경우 COM-NC보다 가축분퇴비 투입량이 적음에도 불구하고 토양의 pH가 유사하게 조사되었다. 가축분퇴비 분해과정에서 발생하는 유기산(CH₃COOH)은 유기산 음이온(CH₃COO⁻)과 양성자(H⁺)로 해리되는데, 유기산 음이온에서 카르복실기(COOH⁻)를 제거하기 위해 방출된 H⁺을 이용하면서 H⁺ 이온 감소로 인해 토양의 pH를 증가시킨다[12]. 또한, 가축 사료 성분 중 하나인 CaCO₃의 함량이 매우 높기 때문에 가축분퇴비를 토양에 투입 시 CaCO₃가 H⁺와 반응하여 H₂O 생성을 통한 완충작용으로 인해 토양의 H⁺ 함량을 낮추고, 토양의 pH를 증가시키는데 효과적이다[13]. 콩과 작물의 잔재물에는 칼슘과 마그네슘과 같은 양이온 함량이 높다. 콩의 잔류물이 분해되면서 방출된 염기성 양이온(Ca²⁺, Mg²⁺)이 토양 표면의 H⁺ 이온으로 대체되거나 반응을 통해 중화되어 토양의 pH를 증가시킨다[14]. 또한, 가축분퇴비 분해와 동일하게 콩의 잔류물이 분해되면서 유기산의 카르복실기 제거 과정을 통해 H⁺ 이온을 소비하여 토양의 pH를 증가시킨다[12]. COM-CR 경우 가축분퇴비와 콩과 작물의 잔류물 분해로 인해 토양의 pH가 증가한 것으로 판단된다.

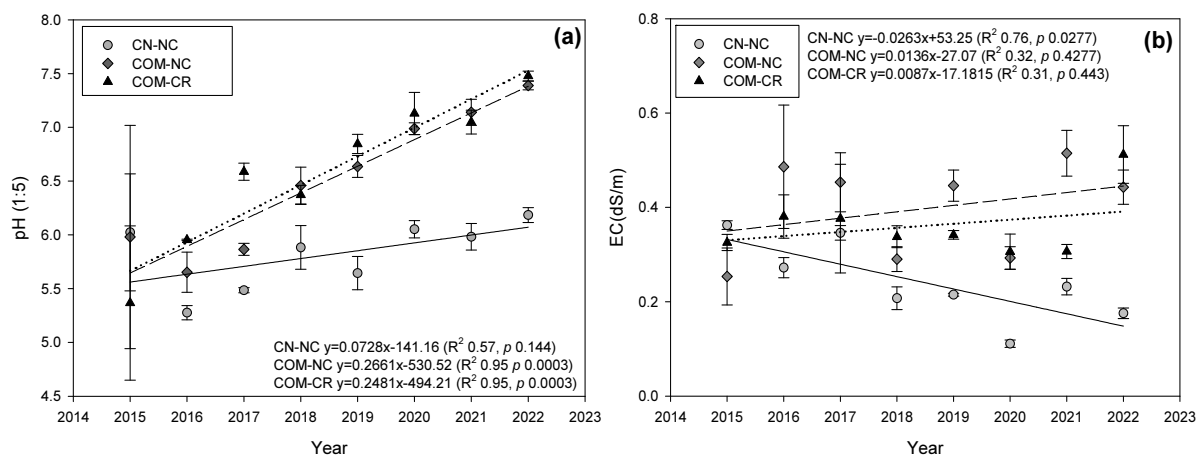


Fig. 2. Dynamics of soil pH (a) and EC (b) due to application of organic agriculture from 2015 to 2022.

R^2 =coefficient of determination; p = the p -value in correlation analysis. CN-NC, no fertilizer-corn and not crop rotation; COM-NC, compost and not crop rotation, COM-CN, compost and crop rotation to corn and soybean. COM-CR cultivated wheat during the fallow season and all the harvested wheat was removed.

토양의 EC의 경우 모든 처리구가 밭 토양의 적정 범위($EC \leq 2.0$)에 해당하였지만, CN-NC 처리구만이 감소하는 경향을

나타냈다(Fig. 2b). 이에 토양의 칼륨, 칼슘 및 마그네슘의 함량을 분석한 결과(Fig. 3), 가축분퇴비를 투입한 처리구는 2015년도 대비 양이온 함량이 24~96% 증가하였으며, COM-CR의 경우 K이 1.24 cmol/kg으로 약 2배 이상 증가하였다. 2022년도 COM-CR의 K, Mg 및 Ca는 COM-NC보다 가축분퇴비 투입량이 적음에도 불구하고 통계적 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 이는 콩과 작물의 잔재물에는 칼슘과 마그네슘과 같은 양이온 함량이 많기 때문에 토양의 양이온 함량이 증가한 것으로 판단된다[12]. 또한, Alves et al.[15]에 따르면 교환성 양이온을 분석한 결과, 콩과 옥수수 윤작이 단작보다 약 8~29% 증가하였는데, 이는 콩과 작물의 뿌리 분비물을 통해 urease, alkaline phosphomonoesterase (ALP) 및 phosphodiesterase (PDE) 등 효소 활성을 향상시키고 [16,17], 유기물을 부식질로 분해하여 CEC를 증가시키기 때문에 콩과 작물 재배는 토양의 CEC 증가에 효과적이라고 보고하였다.

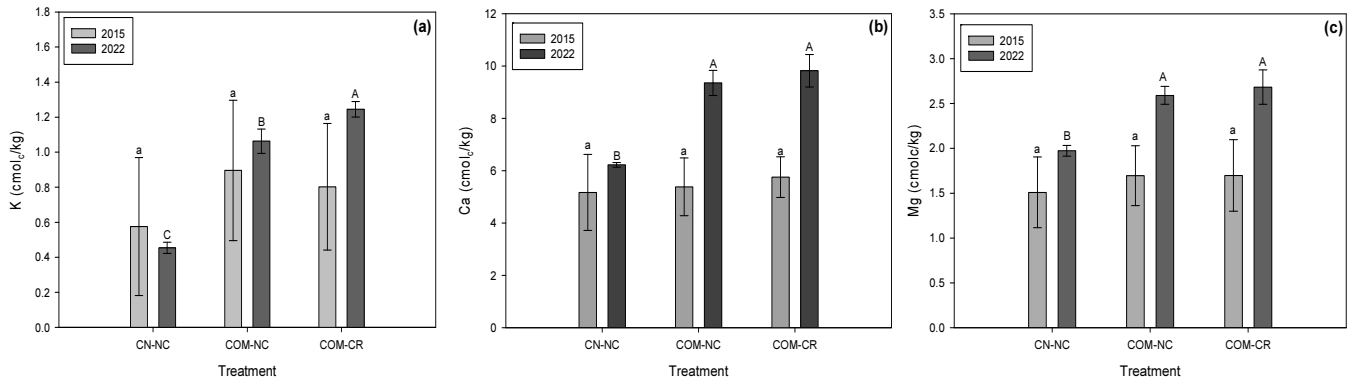


Fig. 3. Effects of long-term application of organic agriculture on soil K (a), Ca (b) and Mg (c) for the years 2015 and 2022.

CN-NC, no fertilizer-corn and not crop rotation; COM-NC, compost and not crop rotation; COM-CN, compost and crop rotation to corn and soybean. COM-CR cultivated wheat during the fallow season and all the harvested wheat was removed. Vertical bar represents standard deviations (n=3). Different letters indicate significant differences among various fertilization for each parameter using Duncan's test ($p < 0.05$). *ns=not significant.

토양의 유기물과 유효인산 변화

토양 내 유기물 함량이 가장 높은 처리구는 콩과 작물을 윤작한 COM-CR이었으며, COM-NC와 통계적 유의미한 차이는 나타나지 않았다. COM-CR의 경우 유기물이 2018년 이전까지는 COM-NC보다 낮게 조사되었지만, 이후부터는 COM-NC보다 증가하는 경향이 나타났다. 토양의 유기물은 투입된 유기질 비료와 뿌리 잔류물에 따라 달라지기도 하지만 작물 순환과 미생물도 유기물 증가에 영향을 준다[18]. Luo et al.[19]은 옥수수 잔재물의 탄소가 콩보다 높아 옥수수의 분해가 더 활발하게 나타났으며, 이로 인해 토양의 유기물 이용량이 옥수수가 가장 높았다고 보고하였다. 또한, 콩의 질소 고정을 통한 토양 질소 증가로 인해 미생물의 토양 내 질소 흡수량을 감소시켜 유기물을 보존할 수 있다고 한다[16,17,19]. Tiemann et al.[20]에 따르면 콩-밀-옥수수를 재배한 윤작은 단작에 비해 미생물의 다양성이 크게 증가하였으며, 특히 글로말린(Glomalin)과 같은 미생물에 유래된 유기물이 더 높게 조사되었다고 한다. 또한, 농업에서 곰팡이와 같은 군집은 토양의 유기물 질과 양 증가에 직접적인 관련이 높게 조사되었다고 보고하였다[21]. 유효인산 함량을 분석한 결과, 2015년 대비 COM-NC는 5배 이상 증가하였으며(Fig 4a), COM-CR은 2배 이상 증가하였지만(Fig 4b), 2022년도 COM-NC와 COM-CR 간의 통계적 유의미한 차이는 조사되지 않았다. 가축분퇴비 투입량이 적음에도 불구하고 COM-CR이 COM-NC와 유효인산 함량이 유사하게 조사되었는데, 이는 콩과 작물의 뿌리가 질소를 고정하는 동시에 유효인산과 같은 미네랄을 흡수하여 토양의 인산 용출을 감소시키기 때문이다[11]. 휴작기에 재배한 밀은 토양 유실과 양분 용출을 감소시켜 재배기를 위한 양분을 보존하는데 효과적이며, 이로 인해 토양의 유효인산을 증가시키는데 영향을 미친 것으로 판단된다[22].

작물 생산량 및 양분 흡수량

옥수수 생산량을 Fig. 5에 제시하였다. 옥수수의 생산량을 분석한 결과, 2018년 이전까지는 COM-NC가 작물 생산량이 가장 높았지만, 이후부터는 콩과 작물을 윤작한 COM-CR 처리구의 생산량이 가장 높게 조사되었으며, COM-NC와 통계적 유의미한

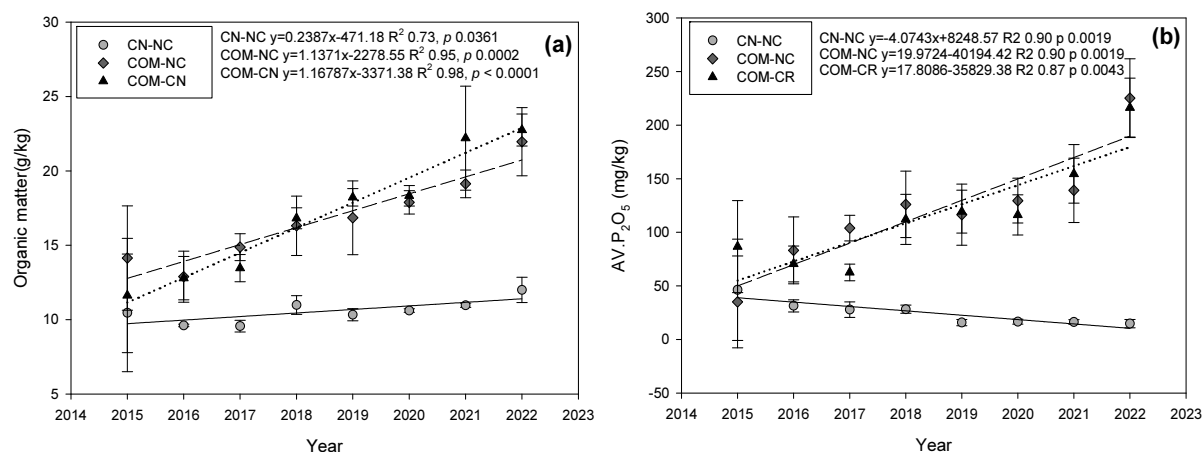


Fig. 4. Dynamics of total organic matter (a) and available phosphorous (Av. P₂O₅) (b) due to application of organic agriculture from 2015 to 2023.

R^2 =coefficient of determination; p =the p -value in correlation analysis. CN-NC, no fertilizer-corn and not crop rotation; COM-NC, compost and not crop rotation; COM-CN, compost and crop rotation to corn and soybean. COM-CR cultivated wheat during the fallow season and all the harvested wheat was removed.

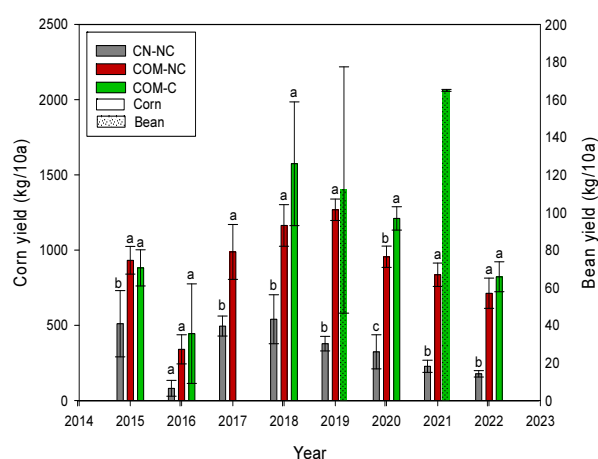


Fig. 5. Corn and Soybean yield from 2015 to 2022.

The corn cultivation period is from June to August, and the cumulative precipitation refers to the average precipitation from June to August. CN-NC, no fertilizer-corn and not crop rotation; COM-NC, compost and not crop rotation; COM-CN, compost and crop rotation to corn and soybean. COM-CR cultivated wheat during the fallow season and all the harvested wheat was removed. The treatments where corn was cultivated have no pattern, and the treatments where beans were cultivated have a dotted pattern.

차이는 나타나지 않았다. 또한 2015년부터 2022년까지 옥수수의 평균 작물 생산량은 COM-CR이 986.6 kg/10a로 가장 높았으며 COM-NC와 유사한 생산량이 조사되었다. 옥수수의 질소 흡수량의 경우 COM-CR과 COM-NC가 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 인산과 칼리의 흡수량의 경우 COM-CR이 COM-NC보다 높게 조사되었다(Table 3). Vakhnyi et al.[23]은 콩과 작물과 함께

Table 3. Mean crop yields of corn in the long term(2015~2022) and N, P, and K uptake of the corn

	Crop yield (kg/10a)	N uptake (kg/10a)	P uptake (kg/10a)	K uptake (kg/10a)
CN-NC	341.6b	0.87b	0.21c	0.70c
COM-NC	899.5a	3.82a	1.02b	2.22b
COM-CR	986.6a	4.55a	1.27a	2.29a

Different letter in the same column indicate significant difference ($p < 0.05$) according to Duncan's multiple range test.

윤작한 작물의 질소, 인산 그리고 칼륨의 흡수량을 조사한 결과, 윤작이 단작에 비해 양분 흡수량이 0.1~1.2% 증가하였으며, 이는 윤작 적용에 따른 토양 양분 균형과 토양의 물리성 개선으로 인해 작물의 양분 흡수량이 증가한 것이라고 보고하였다. 또한 2개 이상의 작물 순환은 토양의 양분 순환을 통해 작물이 이용 가능한 양분 함량을 증가시켜, 토양의 작물 생산량과 품질을 증가시키는 것에 효과적이다[6].

결론

본 연구는 장기간에 걸친 콩과 작물을 활용한 윤작 재배가 옥수수 단작에 비해 토양의 양분과 작물 생산량 유지에 효과적인지 확인하고, 가축분퇴비에 대한 의존도를 줄일 수 있는지 조사하고자 수행되었다. 분석 결과, 가축분퇴비 투입량이 적은 COM-CR 처리구에서 COM-NC 처리구에 비해 교환성 양이온 함량이 약 3-17% 증가한 것으로 나타났다. 이는 콩과 작물의 잔류물이 미생물에 의해 분해되면서 칼슘(Ca)과 마그네슘(Mg)과 같은 양이온의 함량을 높였기 때문이다. COM-CR의 토양 유기물 함량은 23 g/kg으로 COM-NC 처리구보다 높은 것으로 확인되었다. 이는 콩을 통한 윤작이 질소 고정 및 미생물 활성 증가를 통해 토양 유기물 함량을 높이는 데 효과적임을 보여준다. 그러나 본 연구에서는 미생물이 생성한 유기물에 대한 분석이 포함되지 않았기 때문에, 이에 대한 추가연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, COM-CR이 다른 처리구에 비해 작물의 생산량과 양분 흡수량이 가장 좋았기 때문에 콩과 작물을 이용한 윤작은 작물의 생산량 증가와 작물의 양분 흡수에도 효과적임을 확인하였다. 이러한 결과를 통해, 장기간 콩과 작물을 활용한 윤작 재배는 옥수수 단작보다 토양의 양분과 작물 생산량을 효과적으로 유지하고, 가축분퇴비에 대한 의존도를 줄이는 데 기여할 수 있음을 확인하였다. 이는 콩과 작물을 이용한 윤작은 비료 사용 비용을 절감하고 지속 가능한 토양 관리와 생산성 유지에 있어 효과적인 농법임을 확인할 수 있었다.

Data Availability: All data are available in the main text or in the Supplementary Information.

Author Contributions: K.S.H wrote the manuscript and collected the data; L.C.R designed the study; H.Y.H, L.S.M, A.N.H, L.C.R reviewed the manuscript. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Notes: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments: This study was conducted by the support of “For Carbon Neutrality, Evaluation of Soil Carbon balance by Long-term use of Organic Materials and Development of Rapid Soil Analysis Techniques (Project No.PJ01728305)”, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

Additional Information:

Supplementary information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.43>

Correspondence and requests for materials should be addressed to Cho Rong Lee.

Peer review information Korean Journal of Environmental Agriculture thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Reprints and permissions information is available at <http://www.korseaj.org>

References

1. Selim MM, Mostafa M (2020) Introduction to the integrated nutrient management strategies and their contribution to yield and soil properties. *International Journal of Agronomy*, 1, 2821678. <https://doi.org/10.1155/2020/2821678>.
2. Well A, Chan KY, Cornish PS (2000) Comparison of conventional and alternative vegetable farming systems on the properties of a yellow earth in New South Wales. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 80(1-2), 47-60. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00133-X).

3. Bartl B, Hartl W, Horak O (2002) Long-term application of biowaste compost versus mineral fertilization: Effects on the nutrient and heavy metal contents of soil and plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165(2), 161-165. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200204\)165:2<161::AID-JPLN161>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200204)165:2<161::AID-JPLN161>3.0.CO;2-P).
4. Gutser R, Ebertseder T, Weber A, Schraml M, Schmidhalter U (2005) Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers in arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 439-446. <https://doi.org/10.1002/jpln.200520510>.
5. Wortmann CS, Walter DT (2007) Residual effects of compost and plowing on phosphorus and sediment in runoff. *Journal of Environmental Quality*, 36(5), 1521-1527. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0404>.
6. Wang L, Zhao Y, Al-Kaisi M, Yang J, Chen Y, Sui P (2020) Effects of seven diversified crop rotations on selected soil health indicators and wheat productivity. *Agronomy*, 2, 235. <http://doi.org/10.3390/agronomy10020235>.
7. Strom N, Hu W, Haarith D, Chen S, Bushley K (2020) Interactions between soil properties, fungal communities, the soybean cyst nematode, and crop yield under continuous corn and soybean monoculture. *Applied Soil Ecology*, 147, 103388. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103388>.
8. Kim YK, Kang HJ, Oh SH, Lee HJ, Kang SC, Kim SK, Kim HS (2012) Effect of crop rotations on potato yield, soil chemical and microbiological properties in organic farming system. *Korea Journal Organic Agriculture*, 20(4), 687-702. <https://doi.org/10.11625/KJOA.2012.20.4.687>.
9. Lee DB, Yang CH, Ryu CH, Lee KB, Kim BS (2006) Influence of rice-soybean rotation on soil chemical properties and crop growth in silt loam soil. *Korea Journal Soil Science Fertilizer*, 39(4), 209-213.
10. Park CY, Kang JG, Hwang GS, Jung YT (1993) Changes of crop yields according to cropping systems and fertilizing levels in paddy-upland rotation soils. *Journal of Agricultural Science*, 35(1), 281-288.
11. Latati M, Bargaz A, Belarbi B, Lazali M, Benlahrech S, Tellah, S, Kaci G, Drevon JJ, Ounane, SM (2016) The intercropping common bean with maize improves the rhizobial efficiency, resource use and grain yield under low phosphorus availability. *European Journal of Agronomy*, 72, 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.015>.
12. Hue N, Craddock G, Adams F (1986) Effect of organic acids on aluminum toxicity in sub soils. *Soil Sciences of America Journal*, 50, 28-34. <http://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000010006x>.
13. Eghball B (1999) Liming effects of beef cattle feedlot manure or compost. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 30, 2563-2570. <http://doi.org/10.1080/00103629909370396>.
14. Degu M, Melese A, Tena W (2019) Effects of soil conservation practice and crop rotation on selected soil physicochemical properties: The case of Dembecha district, Northwestern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019(1), 6910879. <https://doi.org/10.1155/2019/6910879>.
15. Alves MS, Nascimento NM, Pereira LAF, Barbosa TA, Da Costa CHM, Guimarães TM, Costa CHMD, Bezerra ACTP, Machado DL (2024) Long-Term effect of Crop Succession Systems on Soil Chemical and Physical Attributes and Soybean Yield. *Plants*, 13(16), 2217. <https://doi.org/10.3390/plants13162217>.
16. Liu M, Zhao H (2023) Maize-soybean intercropping improved maize growth traits by increasing soil nutrients and reducing plant pathogen abundance. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1290825. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1290825>.
17. Liu J, Li Y, Han C, Yang D, Yang J, Cade-Menun BJ, Chen Y, Sui P (2022) Maize-soybean intercropping facilitates chemical and microbial transformations of phosphorus fractions in a calcareous soil. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1028969. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1028969>.
18. Kaiser M, Ellerbrock RH, Gerke HH (2007) Long-term effects of crop rotation and fertilization on soil organic matter composition. *European Journal of Soil Science*, 58, 1460-1470. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2007.00950.x>.
19. Luo B, Zhou J, Yao W, Wang Y, Guillaume T, Yuan M, Han D, Bilyera N, Wang L et al. (2024) Maize and soybean rotation benefits soil quality and organic carbon stock. *Journal of Environmental Management*, 372, 123352. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123352>.
20. Tiemann LK, Grandy AS, Atkinson EE, Marin-Spiotta E, McDaniel MD (2015) Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. *Ecology Letters*, 18, 761-771. <http://doi.org/https://doi.org/10.1111/ele/12453>.
21. Six K, Frey SD, Thiet RK, Batten KM (2006) Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 555-569. <http://doi.org/https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0347>.
22. Sienkiewicz S, Żarczyński PJ, Wierzbowska J, Krzbieć SJ (2024) The impact of long-term fallowing on the yield and quality of winter rape and winter and spring wheat. *Agriculture*, 14(4), 567. <https://doi.org/10.3390/agriculture14040567>.
23. Vakhnyi S, Khakhula V, Fedoruk Y, Panchenko T, Herasymenko L (2018) The efficiency increase of the nutrition element uptake by various potato cultivars grown in one-crop system and in crop rotation. *EurAsian Journal of BioSciences*, 12, 1-7.