

무경운 콩 재배를 위한 유기질 비료와 화학비료의 적정 시비법

정현진¹ · 박형준¹ · 권수정¹ · 유진² · 김숙진³ · 정근욱² · 김홍식¹ · 우선희^{1,†}

Effects of Tillage and Fertilizers on Growth Characteristics and Yield of Soybean

Hyun-Jin Jung¹, Hyung-Jun Park¹, Soo-Jeong Kwon¹, Jin Yoo², Suk-Jin Kim³, Keun-Yook Chung², Hong-Sig Kim¹, and Sun-Hee Woo^{1,†}

ABSTRACT The present study was conducted to establish the optimal fertilization type and method for no-tillage during the first year of No-tillage (NT) and Conventional-tillage (CT) practices for soybean, using different types of fertilizers. In this experiment, the culm length and stalk diameter showed a greater response to fertilization with surface irrigation than to conventional fertilization. The fastest flowering period (July 28) occurred using chemical fertilization applied via subsurface irrigation. Comparing maturation based on growth characteristics and flowering date revealed that fertilization with subsurface irrigation was more effective for the growth of crops than other methods. Regarding yield, there was no significant difference between livestock and chemical fertilizers in subsurface irrigation, but there were significant differences between these fertilizers when using conventional fertilization methods. Based on the results, livestock fertilizer with subsurface irrigation effectively enhanced crop quantity. Nitrogen absorption of plants using subsurface irrigation was more effective than that using conventional fertilization. Regarding phosphorus absorption of plants, chemical fertilizers showed higher absorption than did livestock fertilizers for both subsurface irrigation and conventional fertilization. Unlike nitrogen, phosphorus was highly absorbed using conventional fertilization. Absorption of phosphorus and potassium were similar but phosphorus was not absorbed using livestock fertilizers applied either using subsurface irrigation or with conventional fertilization.

Keywords : chemical fertilizer, livestock manure, no-tillage, subsurface irrigation

대기상의 수증기(H₂O), 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 프레온가스(CFCs), 오존(O₃) 등은 산업혁명 이후 농도가 급속도로 증가하였으며, 이 온실가스들은 태양으로부터 지구로 방출되는 복사에너지를 쉽게 투과시키지만, 지구로부터 방출되는 지구 복사에너지의 투과를 막음으로써 지표온도를 상승시켜 지구온난화를 유발시킨다(Cho, 2001).

Oh (2007)에 의하면 앞에서 언급한 온실가스들이 대기중에 지속적으로 증가하여 축적된다면 상상할 수 없는 기후 변화로 인해 피해가 발생할 것으로 예상되며, 지구의 평균 온도가 1°C 상승한다고 하는 2020년에 양서류의 멸종, 평균 온도 2~3°C 상승한다고 하는 2050년에는 지구상에 존재

하는 동식물의 약 30%가 멸종할 것으로 추측하고 있다.

이와 같이 지구온난화로 인한 기후변화발생에 의한 피해가 심각해지고 있으며, 농업 및 여러 분야에서 지구온난화를 야기시키는 온실가스의 방출을 감소시키는 방안에 대한 연구가 진행중이다(Lilly *et al.*, 2003; Reay *et al.*, 2012).

지구온난화를 촉진시키는 여러 요인들 중 농업생산활동에서 발생하는 온실가스들은 아산화질소(N₂O), 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄)이며, 아산화질소와 메탄의 경우 이산화탄소보다 지구온난화를 촉진시키는 정도가 빠르기 때문에 농업생산활동에 있어서는 이 두가지 온실가스 발생을 줄이는 것이 핵심이다(IPCC, 1996).

¹충북대학교 식물자원학과 (Department of Crop Science, Chungbuk National University, Cheong-ju 28644, Republic of Korea)

²충북대학교 환경생명화학학과 (Department of Environmental & Biological Chemistry, Chungbuk National University, Cheong-ju 28644, Republic of Korea)

³국립식량과학원 중부작물부 (National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16613, Republic of Korea)

[†]Corresponding author: Sun-Hee Woo; (Phone) +82-43-261-2515; (E-mail) shwoo@chungbuk.ac.kr

<Received 28 October, 2016; Revised 23 November, 2016; Accepted 28 November, 2016>

농업에서 온실가스의 발생을 감소시킬 수 있는 방법은 현재 크게 두가지로 나뉘어진다. 농업생산에 이용되는 화석에너지의 이용을 감소시키는 에너지효율화 방법이 첫 번째 방법이고, 토양에서 발생하는 온실가스의 발생을 억제시키거나 온실가스배출요인을 제거하는 녹색농업기술이 두 번째 방법이며, 무경운 재배 등이 대표적이다(Lee et al., 2012). 녹색농업기술 중 하나인 무경운 재배는 전혀 경운을 하지 않거나 종자의 배열 및 발아를 위해 특정부분만 최소한으로 경운하는 농법으로 정의된다(Phillips et al. 1980). 주식이 쌀인 우리나라에서 무경운 재배법에 대한 연구는 거의 벼재배에 한정되어 있으며, 발작물의 경우 제한된 작목과 지역 등 단발적인 조사에만 치우쳐 있는 것이 문제점으로 지적된다(Kang et al. 2013). 따라서, 본 연구는 기후 변화 대응 탄소 저감을 위한 목적으로 무경운 토양에 콩을 재배함으로써 밭토양에서 무경운 재배법을 확립하고자 한다.

재료 및 방법

공시재료 및 처리내용

공시품종은 대원콩(*Glycine max* (L.) Merrill)을 사용하였다. 2014년 6월17일에 트레이에 파종하였으며, 약 1주일 뒤인 6월 25일 충북대 부속농장 포장에 이식하였다.

1년차에는 토양충전을 위해 모든 실험토양을 경운하였으며, 재식거리는 50 × 75 cm로 하였다. 경운의 최소화와 노동 투입시간 절감을 위해 지중관수를 설치하여 각각의 비료를 처리하고 개체 사이에 동일한 간격을 유지하여 비료가 식물체에 원활하게 공급 될 수 있도록 하였다. 비료의 공급은 농촌진흥청에서 제시한 작물 별 시비처방기준(RDA, 1999)에 따라 표준시비방법을 기준으로 하였으며, 발아된 콩을 포장에 이식한 직후 기비를 공급하였다. 지중관수는 경운 후에 관수를 설치, 설치 후 기비를 하였으며, 관행시비는 경운 전에 실시하였다.

무경운 토양에 적합한 시비 종류를 확립하기 위해 각각의 종류별로 비료를 공급해주었다. 가축비료, 화학비료, 2 가지 종류의 비료를 토양에 기비로 공급하였으며, 모든 비료의 시비량은 표준시비량인 3-3-3.4 (N-P-K)kg/10a를 맞

추어 시비를 하였다.

가축분뇨는 유기질 비료인 액체 돈분 퇴비를 이용하였으며 이천양돈영농조합에서 공급받았다. 돈액비료 1 L당 성분비는 Table 1과 같다.

조사항목

비료의 종류가 식물체의 수량에 미치는 영향을 조사하기 위해 수확 후 처리구별로 수량 구성요소를 조사하였다. 또한 식물체가 흡수하는 비료의 양을 측정하였다. 질소는 Kjeldhal법을 이용하여 측정하였고, 인산은 Vanadate법, 칼륨은 원자흡광분석법을 이용하여 측정하였으며 실험구 배치는 난괴법 3반복으로 하였다.

결과 및 고찰

성숙기 생육특성 및 개화시기

파종 후 100일 뒤, 식물체가 성숙기에 도달했을 때 특성 조사를 실시하였다. 경장, 경직경, 협수, 종실중 및 개화시기를 측정하여 생장의 객관적 지표를 확인하였다. 지중관수를 이용한 시비가 관행시비 처리보다 경장, 경직경, 및 협수가 높았다(Table 2). 시설팥고추 재배에서 지중관수, 지표관수, 지표관수+공기주입에 따른 고추의 생육발달을 실험한 결과, 지중관수를 이용한 실험에서 지표관수를 이용한 개체에서 뿌리가 더 많이 발달된 것을 관찰할 수 있었으며, 지표관수에 비해 지중관수 시 수량이 각각 22%, 30%가 증가되었다(Kwon et al., 2009). 특히 지중관수를 통한 화학비료를 시비했을 때 경장이 길고 경직경이 두꺼운 양상을 보였으며, 관행시비에서도 유사한 결과가 관찰되었다. 이를 통해 지중관수가 줄기부와 지하부의 성장과 협수의 확보에 유리하다는 사실을 유추해 볼 수 있었다. 반면 시비 방법별 종실중의 차이는 유의성을 찾기가 어려웠다. 비료 종류별 생육 특성을 비교해보면 화학비료와 가축비료간의 차이는 미미하였다.

개화기는 7월 28일부터 8월 1일까지 지속되었는데 그중, 화학비료를 처리한 경우가 7월 28일로 성장속도가 가장 빨랐다. 반대로 가장 늦은 처리구는 관행시비 대조구가 8월 1일 이었다. 성숙기 생육특징과 개화시기를 비교해보면 지

Table 1. Livestock fertilizer composition.

Component	N	P ₂ O ₄	K ₂ O	Degree of decomposition	Ammonia	hydrogen sulfide
	-----	(%)	-----		(ppm)	
Content	0.027	0.021	0.052	Perfect decomposition	3	ND

ND - Not detected

Table 2. Growth characteristics and flowering date in the ripening period of soybean with respect to fertilization methods.

Treatments	Fertilization of subsurface irrigation			Conventional fertilization		
	Control	Livestock fertilizer	Chemical fertilizer	Control	Livestock fertilizer	Chemical fertilizer
Culm length (cm)	64.0 d ^z	97.3 b	111.0 a	55.7 e	72.0 c	74.0 c
Stalk diameter (cm)	7.4 d	7.8 c	9.4 a	6.87 e	6.5 e	8.5 b
No. of pod	22.3 e	32.7 a	35.0 a	24.0 cd	28.0 bc	29.3 b
Seed weight (g)	0.32 a	0.23 b	0.32 a	0.28 ab	0.24 b	0.29 ab
Flowering period	July 31	July 29	July 28	Aug 1	July 31	July 29

^zMeans within a row followed by an identical letter are not significantly different, based on Duncan's tests ($P < 0.05$).

Table 3. Total nitrogen of soybean with various fertilization methods determined using the Kjeldhal method.

Division	Fertilization of subsurface irrigation (mg)			Conventional fertilization (mg)		
	Control	Livestock fertilizer	Chemical fertilizer	Control	Livestock fertilizer	Chemical fertilizer
Top part	70.33 a ^z	64.62 b	59.79 c	49.17 d	39.27 e	35.53 f
Underground part	341.58 f	1171.41 a	978.05 b	758.92 d	681.56 e	915.20 c
Total nitrogen	411.91 f	1236.03 a	1037.83 b	808.10 d	720.86 e	950.72 c
Nitrogen absorption of plant	-	824.12	625.93	-	124.63	142.62

^zMeans within a row followed by an identical letter are not significantly different, based on Duncan's tests ($P < 0.05$).

중관수를 이용한 시비방법이 작물의 생장에 더욱더 효과적이었다고 사료된다.

식물체의 영양분 흡수 및 비료성분 가용량

Kjeldhal법을 이용하여 각 시비방법, 비료 종류별 질소의 이용량을 측정한 값은 Table 3과 같다. 지중관수에서는 돈액비료를 이용할 시 식물체로 흡수되는 질소의 양이 많았고, 관행시비의 경우에는 화학비료를 이용할 때 식물체로 흡수되는 질소의 양이 많았다. 산국의 재배에서 돈분퇴비를 10a당 0, 2000, 4000, 6000, 8000, 12000 kg 각각 다르게 처리하였을 경우, 산국의 질소흡수량을 측정한 결과 돈분퇴비의 사용량이 증가할수록 수확기의 산국의 질소함량이 증가하는 경향을 보였다(Lee & Yang, 2003). 이를 통해 무경운 토양에 시비할 때는 생력화 차원에서 지중관수를 설치하고, 가축비료를 이용하면 환경적인 측면뿐만 아니라 투입 노동력 부문에서 효과를 볼 수 있다고 사료된다. 지중관수와 관행시비 간의 효율을 비교해보면 지중관수를 이용한 시비가 관행시비에 비해 질소의 흡수가 월등히 많음을 알 수 있었다. 지중관수를 이용하면 시비를 할 때 같은 양을 시비할 때 보다 시비의 효율을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

Vanadate법을 사용하여 총 인량을 측정한 결과는 Table 4와 같다. 관행시비의 경우 인 흡수량이 지중관수 보다 많았으며 지중관수 시비에서는 가축비료를 시비할 때 인 흡수가 되지 못하였다. 지중관수 화학비료의 경우에는 대조구 보다는 높았지만 대조구와는 큰 차이가 없었다. 지중관수 가축비료 처리구의 지하부 흡수량은 지중관수가 화학시비보다 높다는 사실을 확인하였다.

관행시비의 경우 가축비료를 시비 한 것에는 대조구에 비해 개체 당 6.36 mg, 화학비료 처리구에서는 개체 당 10.96 mg을 더 흡수하였다. 지중관수, 관행시비 모두 가축비료 시비보다 화학비료 시비에서 많은 양의 인이 흡수되었는데, 가축비료의 인 함유량이 낮은 것이 크게 작용했다고 사료된다. 해송의 생육과정에서 돈분퇴비 사용 시 해송 묘목의 총 인산함량을 측정한 결과, 대조구에 비하여 돈분퇴비를 사용 시 지하부에서 인산의 함량이 높게 측정되어 콩 생육과 유사한 결과를 보였다(Lee & Cho, 2006). 또한 질소가 지중관수 시에 높게 흡수되는 것과는 달리 관행 시비 시에 높게 나타났다. 앞으로 지중관수를 이용한 최소경운, 무경운 토양에서의 인의 원활한 공급의 방안이 필요할 것으로 사료된다.

원자흡광분석법을 이용하여 칼리의 식물체 흡수량 측정

Table 4. Total phosphorus of soybean with various fertilization methods determined using the Vanadate method.

Division	Fertilization of subsurface irrigation (mg)			Conventional fertilization (mg)		
	Control	Livestock fertilizer	Chemical fertilizer	Control	Livestock fertilizer	Chemical fertilizer
Top part	23.39 d ^z	22.89 e	26.84 c	21.36 f	28.09 b	37.44 a
Underground part	2.58 a	0.57 d	0.15 f	0.65 c	0.28 e	1.54 b
Total phosphorus	25.47 d	23.61 e	26.99 c	22.01 f	28.37 b	39.33 a
Phosphorus absorption of plant	-	-2.36	1.01	-	6.36	10.96

^zMeans within a row followed by an identical letter are not significantly different, based on Duncan's tests ($P < 0.05$).

Table 5. Total potassium of soybean with various fertilization methods determined using atomic absorption analysis.

Division	Fertilization of subsurface irrigation (mg)			Conventional fertilization (mg)		
	Control	Livestock fertilizer	Chemical fertilizer	Control	Livestock fertilizer	Chemical fertilizer
Top part	46.96 b ^z	39.35 e	48.67 a	46.96 b	41.90 d	45.61 c
Underground part	1.83 c	2.40 b	0.71 d	0.63 e	1.84 c	2.79 a
Total potassium	48.79 b	41.75 f	49.38 a	47.59 d	43.74 e	48.39 c
Potassium absorption of plant	-	-7.03	0.60	-	-3.85	0.80

^zMeans within a row followed by an identical letter are not significantly different, based on Duncan's tests ($P < 0.05$).

Table 6. Analysis of soybean yield after harvesting with various fertilization methods.

Treatments	Fertilization of subsurface irrigation			Conventional fertilization		
	Control	Livestock fertilizer	Chemical fertilizer	Control	Livestock fertilizer	Chemical fertilizer
Population per 10a	5714.3	5714.3	5714.3	5714.3	5714.3	5714.3
No. of pod	49.6 b ^z	63.6 a	58.8 ab	60.7 a	67.9 a	61.8 a
No. of seed	83.4 c	103.9 a	97.7 b	67.1 d	86.8 bc	103.7 a
100 seeds weight (g)	26.1 b	24.5 b	27.3 b	28.6 a	25.3 b	26.0 b
Yield (g)	91998 c	118971 bc	141046 bc	191538 ab	212484 a	181239 ab
Index	100	129.3	153.3	208.1	231.0	197.0

^zMeans within a row followed by an identical letter are not significantly different, based on Duncan's tests ($P < 0.05$).

값은 Table 5와 같다. 칼리 흡수량은 인의 흡수량과 비슷한 양상을 보였다. 지중관수, 관행시비 처리구 모두 가축비료에서는 칼리 흡수를 하지 못했으며 화학비료의 경우는 미량 흡수함을 확인 하였다. 무비와 질소기준 SCB (slurry composting biofiltration)액비 1/2수준, 1수준, 화학비료 총 4처리구 오이재배를 하여 각 부위별로 칼륨함량을 조사한 결과 뿌리의 경우 화학비료에서 가장 낮았으며, 치환성 칼륨함량은 SCB 1수준에서 가장 높게 측정되었다(Park *et al.*, 2011). 본 실험에서 돈액비료처리구에서 칼륨의 흡수가 이루어지지 않은 것은 가축비료를 공급받아 바로 사용한

것이 아니고, 5번에 걸쳐 나누어 사용한 것이 문제를 일으킨 것이라고 사료되며, 앞으로 상세한 조사 및 연구가 필요할 것으로 판단된다.

수량 구성요소

콩재배 시 비료의 종류가 수량에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 6과 같다. 지중관수 처리구에서는 가축의 처리구가 화학처리구보다 협수와 종자수가 높지만, 100립중은 낮았다. 반면 관행시비의 경우 협수는 가축분뇨 처리구가 높았으나 유의차는 존재하지 않았으며 종자 수는 유의

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명:발토양 식량 작물 무경운 작물재배법 개발, 세부과제번호:PJ01005505)의 지원에 의하여 이루어진 것이며, 이의 지원에 감사드립니다.

인용문헌(REFERENCES)

- Cho, J. R. 2001. A study on the trends and environment impact assessment for global warming. The Korean Society for Quality Management, 2(2):61-70.
- IPCC. 1996: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. Lim, K. Treanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D. J. Griggs and B. A. Callender eds.). UK Meteorological Office. Brackbell, UK.
- Kang, H. W., M. T. Kim, K. S. Kim, W. T. Jeon, J. H. Ryu, and K. Y. Seong. 2013. No-till farming system: research direction and outlook in Korea. Korean Society of Soil Sciences and Fertilizer. 46(3):143-152.
- Kwon, J. K., N. J. Kang, M. W. Cho, Y. I. Kang, K. S. Park, and J. H. Lee. 2009. Effects of subsurface drip irrigation and aeration in green pepper cultivation. Journal of Bio Environment Control. 18(3):225-231.
- Lee, C. H. and J. Y. Cho. 2006. Growth response and uptake of nitrogen and phosphorus of *Pinus thunbergii* by treatment of a dried swine excrement. The Korea Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology. 9(2):72-80.
- Lee, G. Z., Y. S. Choi, S. K. Yang, J. H. Lee, and S. Y. Yoon. 2012. Analysis of consumption of homemade organically processed food analysis of the carbon emission reduction effect from no-tillage in pepper (*Capsicum annuum* L.). Korea Journal of Organic Agriculture. 20(4):503-518.
- Lee, K. D., and M. S. Yang. 2003. Effects of pig manure application on nitrogen uptake, yield and active components of *Chrysanthemum boreale* M. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 11(5):371-376.
- Lilly A., B. Ball, I. McTaggart, and P. Horne. 2003. Spatial and temporal scaling of nitrous oxide emissions from the field to the regional scale in Scotland. Nutrient Cycling in Agroecosystems 66:241-257.
- Oh, J. H. 2007. Prospect of natural disaster in Korea with global warming. Korean Review of Crisis & Emergency Management. 3(2):82-94.
- Park, J. M., T. J. Lim, S. E. Lee, and I. B. Lee. 2011. Effect of pig slurry fertigation on soil chemical properties and growth and development of cucumber (*Cucumis sativus* L.). Korean Journal of Soil Science & Fertilizer. 44(2):194-199.
- Phillips, R. E., G. W. Thomas, R. L. Blevins, W. W. Frye, and S.

성이 있는 수준에서 화학처리구가 많았다. 수량은 지중관수를 이용 할 때는 가축비료와 화학비료간의 유의성은 존재하지 않았지만 관행시비를 이용한 가축비료 시비와 화학비료 간에는 유의차가 있는 수준에서 화학비료 처리구에서 수량이 감소하였다.

충북 진천과 강원도 횡성에서 각각 액상분뇨원액, 여과액비, 화학비료 처리구와 액상분뇨기비, 액상분뇨기비, 화학비료추비, 화학비료기비 처리구에서 벼의 생육과 수량을 비교 실험한 결과, 수량구성요소 측면에서는 각각 해당요소마다 높은 결과를 보이는 실험구가 상이하였으며, 수량은 충북진천에서 시행된 여과액비 실험구에서 가장 높게 나왔다(Ryoo & Hong, 2004). 수량성 측면에서는 액비실험구가 화학비료실험구보다 수량성이 높거나 비슷하게 나온 것으로 보아 탄소배출을 절감하고 생력화를 위한 무경운 발토양 재배법에 있어서 지중관수를 이용한 가축분뇨 시비가 작물의 수량에 가장 효율적인 방법이라고 사료된다.

적 요

본 연구는 무경운 재배법에 알맞은 비료종류 및 시비방법을 확립하고자 수행되었다. 주요 결과는 아래와 같다.

1. 지중관수를 이용한 시비가 관행시비 처리보다 경장, 경직경 및 협수가 높았으며 각 처리구별 개화시기를 비교시 관행시비 화학비료 처리구에서 7월 28일로 개화시기가 가장 빨랐다. 성숙기 생육특징과 개화시기를 비교해보면 지중관수를 이용한 시비방법이 작물의 생장에 효과적이었다.
2. 질소 이용량은 지중관수와 관행시비 간의 효율을 비교 시 지중관수를 이용한 시비가 관행시비에 비해 질소의 흡수가 월등히 많음을 알 수 있었다.
3. 인의 흡수량은 지중관수, 관행시비 모두 가축비료 시비보다 화학비료 시비에서 많은 양의 인이 흡수되었으며, 질소가 지중관수 시에 높게 흡수되는 것과는 달리 관행시비 시에 인이 높게 흡수되었다.
4. 원자흡광분석법을 통하여 각 시비방법, 비료종류별 칼리의 흡수량을 조사한 결과 인의 흡수량과 비슷한 양상을 보였으며, 지중관수, 관행시비 처리구 모두 가축비료에서 칼리의 흡수가 이루어지지 않았다.
5. 수확 후 수량을 비교한 결과 지중관수를 이용 할 때는 가축비료와 화학비료간의 유의성은 존재하지 않지만, 관행시비를 이용한 가축비료와 화학비료 시비에는 유의차가 있는 수준에서 수량이 감소하였다.

- H. Phillips. 1980. No tillage agriculture. *Science*. 208 (4448): 1108-1113.
- RDA. 1999. Fertilizer recommendation standards for various crops. Gwangmun-dang: 57-58 (In Korean).
- Reay, D. S., E. A. Davidson, K. A. Smith, P. Smith, J. M. Melillo, F. Dentener, and P. J. Crutzen. 2012. Global agriculture and nitrous oxide emissions. *Nature Climate Change*. 2:410-416.
- Ryoo, J. W. and M. J. Hong. 2004. Effect of application methods for liquid pig slurry on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Livestock Housing and Environment*. 10(2):75-80.