

유기농 시설하우스 토양에서 유박 시용이 토양특성 및 적겨자 생육에 미치는 영향

김갑철* · 안병구 · 김형국 · 정성수

전라북도농업기술원

Effect of Expeller Cake Fertilizer Application on Soil Properties and Red Mustard (*Brassica Juncea* L.) Yield in Soil of Organic Farm of Plastic Film Greenhouse

Kab-Cheol Kim*, Byung-Koo Ahn, Hyung-Gook Kim, and Seong-Soo Jeong

Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 570-704, Korea

To evaluate the application level of expeller cake fertilizer (ECF), we have investigated soil chemical properties, leaf mineral contents and yield of red mustard in plastic film greenhouse. Four levels of fertilizer were applied as 50% (ECF 50), 75% (ECF 75), 100% (ECF 100) and 150% (ECF 150) by base 1,848 kg kg⁻¹ of ECF. In 2010, red mustard was planted on April 28 in silt loam soil and harvested on July 7. Commercial yields were measured 12 times from May 14 to July 7. Electrical conductivity (3.40~3.54 dS m⁻¹), available P₂O₅ (580~618 mg kg⁻¹) and exchangeable cations (K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺) were tended to increase by the application of ECF. However, the range of those was not so big increasing amount. The content of T-N, K, Ca and P of red mustard leaves was 63.2~66.4 g kg⁻¹, 55.1~56.4 g kg⁻¹, 8.6~9.5 g kg⁻¹ and 5.7~6.3 g kg⁻¹, respectively. The nitrogen utilization rate of red mustard was 38~52%, and it was decreased with increased application of ECF. The yield of red mustard was 13,670 to 14,460 kg ha⁻¹ on the basis of application amount of ECF and the yield did not increased in spite of increased ECF. The optimum dose of application of ECF for cultivation of red mustard was from 924 kg ha⁻¹ (ECF 50) to 1,386 kg ha⁻¹ (ECF 75). Environment-friendly and economical amount of applied fertilizer is more important than yield for cultivation of red mustard.

Key words: Red mustard, Expeller cake fertilizer, Chemical property, Soil

서 언

오늘날 건강한 삶을 지향하는 사회적인 흐름은 환경문제가 주요 관심사로 되었고, 농업분야에서도 환경에 대한 부담을 적게 주면서 고품질 안전농산물을 생산하는 친환경 농업의 형태로 변화되고 있다. 2001년 친환경 농산물 인증제도가 시행된 이후로 친환경 인증면적은 지속적으로 증가하였다. 2010년 전라북도의 친환경 인증면적은 12,297 ha로 이 중 무농약인증 이상이 전체면적의 42%를 차지하며, 유기농 재배면적은 1,627 ha 정도이다 (Jeollabuk-Do, 2010).

유기농업을 하려면 지력을 증진시키기 위한 토양의 적절한 관리는 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 지력의 유지 및 향상을 위하여 각종 유기물이 사용되고 있으며, 특히 퇴비, 가축분 및 작물잔사 등의 과다사용에 의한 양분의 과잉공급

과 양분불균형 등으로 토양환경의 악화가 우려되고 있다.

우리나라 시설재배지 토양의 pH는 6.0, 전기전도도 (EC) 2.94 dS m⁻¹, 유효인산 1,092 mg kg⁻¹, 치환성칼륨 1.27, 석회 6.0, 고토 2.5 cmol_c kg⁻¹으로 pH를 제외하고 대부분의 화학성분들의 함량이 높았으며 (Jung et al., 1998), 전라북도에서 친환경으로 쌈채소를 재배하고 있는 시설하우스의 토양화학성분 함량을 분석한 결과도 pH 6.3, 전기전도도 4.3 dS m⁻¹, 유효인산 789 mg kg⁻¹으로 같은 경향을 보였다 (JARES, 2009). 유기농법으로 배추와 상추를 재배한 토양의 인산함량은 적정함량보다 1.8~2.2배 높으며, 전기전도도 또한 높아 염류집적에 의한 피해가 우려되며 유기농업을 지속하기 위해서는 토양 내 양분의 과잉집적을 방지하고 농업환경보전을 위한 토양의 질을 향상시키기 위해 많은 노력을 기울여야 한다 (Song et al., 1996). Lee et al. (2006)은 유기농 재배지에 사용된 유기물 자원의 양분투입량은 질소와 인산 등 3요소 성분이 과다하게 공급되었으며, 이러한 영향은 다음 작물을 재배할 때까지 지속되어 사용량을 줄일

접수 : 2012. 10. 8 수리 : 2012. 11. 20

*연락처 : Phone: +82632906191

E-mail: kimk@korea.kr

필요가 있다고 보고 하였다. 지속적이고 안정된 작물재배를 위해서는 과부족한 양분이 없도록 토양양분을 고려한 유기질 비료를 선택적으로 사용하는 유기물 시용기술에 대한 기술정립이 요구되는데 적겨자에 대한 시비기준은 없으며 유기질비료 시험연구도 부족하다.

따라서 본 연구에서는 염류 및 인산 등이 집적된 유기농 시설하우스 토양에서 적겨자 재배시 유박시용이 토양화학성 및 생육에 미치는 영향을 조사 하였다.

재료 및 방법

시험방법 적겨자의 유기농재배를 위한 유박 시비시험은 전라북도 김제시 백학동 시설하우스 (전북통, 미사질양토)에서 수행하였으며 시험 전 토양의 화학성은 Table 1과 같다. 시험에 사용된 유기질 비료는 유박비료로 비료성분 함량은 유기물 705 g kg⁻¹, 질소 37.9 g kg⁻¹, 인산 22.1 g kg⁻¹, 칼리 13.6 g kg⁻¹이었다 (Table 2).

적겨자는 30일간 육묘한 묘를 흑색비닐 멀칭을 하여 재식밀도는 20×20 cm, 처리구당 면적은 22 m²로 하여 2010년 4월 28일부터 7월 7일까지 재배하였다. 첫 수확은 5월 14일 하였으며 시험기간 동안 12회 수확을 하였다. 유박비료의 시용량은 적겨자에 대한 시비기준이 없어 상추의 질소 시비기준 70 (유박비료 1,848) kg ha⁻¹을 시비기준으로 하였으며 (NIAST, 2006), 유박비료 시용은 정식 2주전에, 시험구는 임의배치 3반복으로 하였다. 시험구는 유박비료에 함유된 질소성분량을 환산하여 유박비료 시비량을 달리 처리한 Expeller Cake Fertilizer (ECF) 50 (유박비료 924 kg ha⁻¹), ECF 75 (유박비료 1,386 kg ha⁻¹), ECF 100 (유박비료 1,848 kg ha⁻¹), ECF 150 (유박비료 2,772 kg ha⁻¹) 4처리구로 하였다.

식물체 및 토양분석 분석방법은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법에 준하여 실시하였다 (NIAST, 2010). 토양 pH와 EC는 풍건토양과 증류수를 1:5 (w/v)비율로 희석

하여 pH Meter (EUTECH COND 600)와 EC Meter (EUTECH ECOSCAN)로 각각 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 비색 (HP8453 UV-Vis, Agilent) 측정하였다. 치환성양이온은 1N CH₃COONH₄ (pH 7.0)으로 추출하여 유도결합플라즈마분광광도계 (GBC, Integra dual, Australia)로 측정하였다. 식물체, 토양 및 유박비료의 총 질소는 황산으로 습식분해 후 칼달중류법 (Kjeltec 2400-Analyzer, FOSS)으로 분석하였으며, 분석한 자료의 통계적인 분석은 SPSS (12.0)를 사용하여 Duncan의 다중검정을 실시하였다.

토양미생물 조사 토양 중 호기성 세균, *Bacillus* sp.는 yeast glucose (YG)배지를 사용하여 분리하였고, 사상균은 Rose bangal 한천배지, 방선균은 전분 Casein 한천배지를 각각 사용하였다. 각각의 배지에 토양희석액을 도말한 후 호기성 세균, 사상균, 방선균은 25°C에서 3일간 배양 후 조사하였고, *Bacillus* sp.는 토양희석액을 80°C 수조에서 20분간 방치한 후 배지위에 접종하고 3일 후에 조사하였다.

Microbial biomass C는 토양시료를 클로로포름으로 혼중하여 0.5M K₂SO₄ 용액으로 추출한 후 중크롬산으로 분해하고 황산제1철 암모니움 용액으로 적정하였다. 탈수소효소 (Dehydrogenase) 활성도 측정은 CaCO₃와 3% TTC (2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride)용액을 혼합한 후 여과하여 UV/Vis Spectrophotometer (HP8453 UV-Vis, Agilent)로 485 nm에서 흡광도를 측정하였다.

결과 및 고찰

토양화학성 변화 및 미생물상 분포 시설하우스 토양에서 유박 시용량을 달리 하여 적겨자를 재배한 후 토양화학성을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 시험 후 토양 pH는 유박 시용 전에 비해 낮아졌으며, 유박 시용량에 따른 pH는 5.7~5.9 범위로 차이는 없었다. 시설재배지 토양의 적정기준 (6.0~6.5)보다 낮았는데, 시설하우스에서 둔분퇴비 등을 시용 후 상추, 시금치를 재배한 토양의 pH 변화와 같은

Table 1. Chemical properties of used soil in this experiment.

pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cations		
				K	Ca	Mg
(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹		
6.3	3.02	26.7	584	1.21	5.3	3.7

Table 2. Chemical properties of used expeller cake fertilizer in this experiment.

OM	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Na ₂ O	Water content
g kg ⁻¹							---- % ----
705	37.9	22.1	13.6	7.6	31.0	1.6	14

Table 3. Chemical properties of the soil after experiment.

Treatment [†]	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cations		
					K	Ca	Mg
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----		
ECF 50	5.7a [‡]	3.40a	25.1a	580a	1.11a	4.5a	3.2a
ECF 75	5.7a	3.43a	26.2a	597a	1.15a	4.7a	3.2a
ECF 100	5.8a	3.51a	28.6a	602a	1.21a	4.9a	3.5a
ECF 150	5.9a	3.54a	30.1a	618a	1.23a	5.1a	3.7a

[†]ECF : Expeller Cake Fertilizer.

[‡]Treatment with the same letter with a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$).

Table 4. Soil microbial distribution of the soil after experiment.

Treatment [†]	Aerobic bacteria	<i>Bacillus</i> sp.	Fungi	Actinomycetes.	Microbial biomass C	Dehydrogenase
	($\times 10^6$)	($\times 10^5$)	($\times 10^4$)	($\times 10^4$)		
	----- CFU soil g ⁻¹ -----				$\mu\text{g g}^{-1}$	mg kg^{-1}
ECF 50	35.0a [‡]	14.6a	39.5a	15.2a	49.5a	34.6a
ECF 75	41.6a	15.7a	38.2a	16.1a	46.2a	35.3a
ECF 100	48.1b	12.7a	37.5a	18.0a	48.5a	37.9a
ECF 150	48.5b	10.8a	37.2a	19.3a	68.5b	38.2a

[†]ECF : Expeller Cake Fertilizer.

[‡]Treatment with the same letter with a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$).

경향이였다 (Kwak et al., 2003).

EC는 3.40~3.54 dS m⁻¹, 인산은 580~618 mg kg⁻¹로 유박 사용량에 따라 차이를 보였으며, K, Ca, Mg 등의 양이 온도 같은 경향이였으나 증가 폭은 크지 않았고 통계적 유의성은 없었다. 이는 유박의 인산 및 칼리 등의 함량이 낮아 시험구에 사용된 양이 적었기 때문으로 생각되어지는데, 인산은 20~60 kg ha⁻¹, 칼리는 12.5~37 kg ha⁻¹이 사용되었다. 유기질비료로는 N, P, K 사용량을 조절할 수 없어 인산 등 양분이 토양에 집적된 시설재배지 토양에서는 토양 화학성에 따른 유기질 비료 선택이 필요하다. Oh et al. (2001)은 유기농 자재를 동일하게 연용한 토양에서 인산, 칼슘, 마그네슘 등의 함량이 증가하는 경향으로 적정 유기물 사용을 통한 지속적인 유기농산물 생산이 가능하도록 하기 위해서는 사용하려는 유기물 자원의 화학성과 재배토양의 화학성을 분석하여 과분족한 성분이 없도록 적당한 유기물을 선택하여 사용량을 결정하여야 할 것으로 판단된다.

유박을 사용 후 토양미생물상 분포를 조사한 결과는 Table 4와 같다. 호기성 세균과 방선균은 각각 35.0~48.5 $\times 10^6$, 15.2~19.3 $\times 10^4$ CFU soil g⁻¹로 유박비료 사용량이 많을수록 높았지는 경향이나 유의성은 없었으며, 호기성 세균은 시설재배지에서 염류농도가 높은 토양이 적정한 토양보다 높았다는 보고와 유사한 경향이였으며 (Lee et al., 2011), Moon et al. (2012)이 조사한 전북의 광역친환경 농업단지 시설하우스 33.2 $\times 10^6$ CFU soil g⁻¹보다는 높았다.

사상균도 사용량에 따라 37.2~39.5 $\times 10^4$ CFU soil g⁻¹이였으나, 유의성은 없었다. 토양 Dehydrogenase 활성은 토양 내 물질순환과 농경지내 토양양분의 부하정도를 판단 할 수 있어 토양생태계의 건정성을 판별하는 지표로 이용되고 있다. 유기질비료 사용량에 따른 Dehydrogenase 활성은 사용량에 따라 높아지는 경향으로 34.6~38.2 mg kg⁻¹ 범위에 있으나 차이는 없었다. Kwak et al. (2003)는 돈분퇴비의 사용량이 많은 농가관행구의 시험구에서 Dehydrogenase 활성이 높았다는 보고와 같은 경향이며, Lee et al. (2000)이 제시한 적정 효소활성 값의 범위 내에 있어 토양건전성이 유지되는 것으로 판단된다. Oh et al. (2001)은 유기농 자재의 연용에 따른 토양미생물상 변화는 재배년수가 경과함에 따라 세균, 방선균수는 증가하고 사상균수는 감소하는 경향이라 하였는데 유기농 자재를 최대한 활용하여 토양생태계를 건전하게 유지하고 작물에 대하여 지속적인 양분을 공급을 할 수 있도록 토양 근권내의 유익한 미생물수를 증가 시켜야 할 것으로 판단된다.

잎의 무기성분함량과 질소이용율 수확기 적겨자의 무기성분 함량을 분석한 결과는 Fig. 1, 2와 같다. T-N는 63.2~66.4 g kg⁻¹, K는 55.1~56.4g kg⁻¹, Ca는 8.6~9.5 g kg⁻¹, P는 5.7~6.3 g kg⁻¹ 범위로 시비량의 증감에 따라 무기성분 함량은 차이를 보이지 않아 양분공급은 부족하지 않은 것으로 생각되며 유박비료 사용량을 가장 적게 처리한

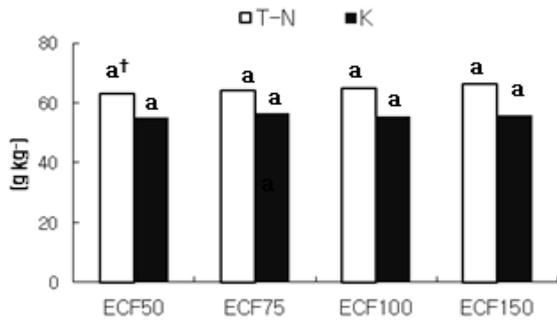


Fig. 1. Contents of nitrogen and potassium in red mustard leaves at harvest stage. (†Treatment with the same letter with a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$)

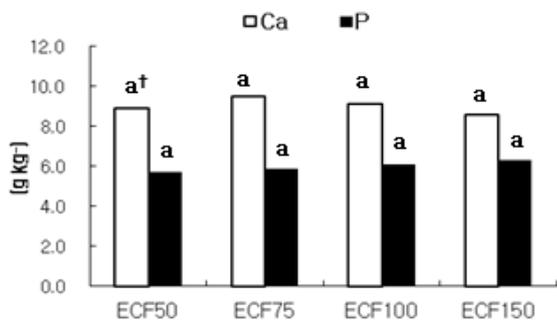


Fig. 2. Contents of calcium and phosphorous in red mustard leaves at harvest stage. (†Treatment with the same letter with a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$)

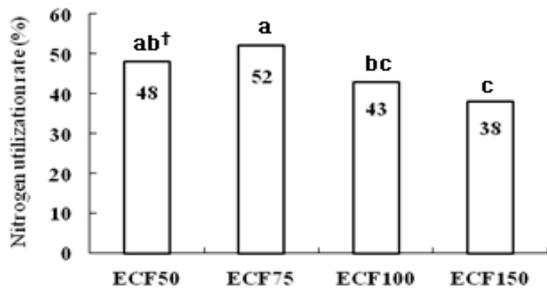


Fig. 3. Nitrogen utilization rate of expeller cake fertilizer. (†Treatment with the same letter with a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$)

ECF 50 시험구에서도 식물체 영양성분 부족은 없는 것으로 판단된다. Fig. 3은 유박비료 처리별 질소이용율을 구하여 나타낸 것으로 38~52%의 범위로 유박비료 시용량이 많을 수록 질소이용율은 적어지는 경향으로 ECF 75 > ECF 50 > ECF 100 > ECF 150 처리구 순 이었다. 토양에 과다 집적되고 작물이용도가 낮은 인산, 칼슘, 마그네슘과 기존 토양과 부산물 비료를 통해 공급된 미량원소 등은 관비로서 공급하지 않아도 되며 (Lee et al., 2005), 상추와 시금치에서 화학비료나 돈분퇴비의 시용량 증가에 따른 무기성분 함량이나 흡수량에 차이가 적은 결과와 같은 경향 이었다 (Kwak et al., 2003). 이는 시험 전 토양의 EC농도나, 토양화학성분 중 인산, 무기물 등이 시설재배지 적정기준보다 높아 과잉 집적된 이들 성분을 작물이 이용한 것으로 판단된다. 따라서 이와 같은 결과로 볼 때 시설재배지 토양에 집적된 토양 성분을 작물이 이용 할 수 있도록 토양환경을 개선해 주는 것이 먼저 이루어져야 하며 유박비료도 과잉시용을 자제하는 것이 건전한 토양환경을 유지시킬 것으로 생각되었다.

생육특성 및 수량 유박 시용량에 따른 적겨자의 엽장, 엽폭 등의 생육 및 수량성을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 엽장은 22.9~23.7 cm 범위 엮으며, 엽폭은 10.6~11.3 cm 로 ECF 150 시용구에서 11.3 cm로 가장 넓었으나 유박비료 시용량간에 유의성은 없어 ECF 50 시용구에서도 생육에 필요한 비료양이 공급된 것으로 생각된다. 적겨자의 수량은 유박비료 시용량에 따라 13,670~14,460 kg ha⁻¹ 범위로 유박비료 시용량이 증가해도 수량증수는 없는 것으로 나타났는데, 시설재배지 토양에서 상추 재배시 시비량이 적은 토양검정구에서 표준시비량구와 농가관행구에 비해 수량 감소는 없으며, 시금치의 경우 시비량이 많은 농가관행구에서 감소되었다는 보고와 같은 경향이였다 (Kwak et al., 2003). Kim et al. (1998)은 가축분 퇴비 30 Mg ha⁻¹ 시용보다 50 Mg ha⁻¹ 시용에서 규격상품화율이 떨어졌으며, 토마토 재 배시 돈분퇴비 시용이 많은 시용구에서 수량이 낮아졌다고 하였다 (Min et al., 1995). 작물의 시비량을 산출하기 위해서는 최고 수량보다 경제적이고 친환경적인 시비관리가 필

Table 5. Yield and yield components of red mustard according to expeller cake fertilizer application.

Treatment [†]	Leaf length	Leaf width	No. of Commerical leaves per hill	Commerical yield	Commerical rate
	----- cm -----			kg ha ⁻¹	%
ECF 50	22.9a [‡]	10.6a	10.5a	13,670a	80.9a
ECF 75	22.6a	10.5a	10.8a	14,460a	81.7a
ECF 100	23.7b	10.9a	10.1a	13,890a	81.2a
ECF 150	22.6a	11.3a	9.7a	13,860a	80.4a

[†]ECF : Expeller Cake Fertilizer.

[‡]Treatment with the same letter with a column are not significantly different (Duncan test, $p < 0.05$).

요한데, 경제적 수준의 적정시비량은 경제적 이윤을 고려하여 최고 수량의 95%를 낼 수 있는 시비량이다 (Kwak et al., 2001). ECF 100 시험구의 수량은 13,890 kg ha⁻¹ 으로 질소시비량 70 kg ha⁻¹ 수준을 사용한 비료량이며, ECF 50 시험구의 수량은 13,670 kg ha⁻¹, ECF 75 시험구는 14,460 kg ha⁻¹으로 유박사용량에 따른 차이가 없어 ECF 50, 75 시험구에 사용한 사용량 정도로 적겨자 재배시 유박비료 사용기준으로 활용해도 될 것으로 판단된다.

요 약

적겨자 유기농 재배를 위한 유기질비료 유박의 적정사용기준을 마련하고자 시설하우스에서 유박비료를 질소성분량 70 kg ha⁻¹ (ECF 100)을 기준으로 35 (ECF 50), 52.5 (ECF 75), 105 (ECF 150) kg ha⁻¹ 수준으로 처리하여 토양환경, 적겨자 생육 및 수량특성을 조사하였다. 시험 후 토양 pH는 유박 사용 전에 비해 낮아졌으며, 유박 사용량에 따른 pH는 5.7~5.9 범위로 차이는 없었다. EC는 3.40~3.54 dS m⁻¹, 인산은 580~618 mg kg⁻¹로 유박 사용량이 증가할수록 증가하는 경향이였으며, K, Ca, Mg 등의 양이온도 증가하였으나 유의성은 없었다. 호기성 세균과 방선균, Dehydrogenase 활성은 각각 35.0~48.5×10⁶, 15.2~19.3×10⁴ CFU soil g⁻¹, 34.6~38.2 mg kg⁻¹ 범위이며, 사상균도 사용량에 따라 37.2~39.5×10⁴ CFU soil g⁻¹이었으나, 유의성은 없었다. 수확기 적겨자 잎의 T-N는 63.2~66.4 g kg⁻¹, K는 55.1~56.4g kg⁻¹, Ca는 8.6~9.5 g kg⁻¹, P는 5.7~6.3 g kg⁻¹ 범위였다. 유박비료의 질소이용율은 38~52% 이었으며, 유박비료 사용량이 많을수록 질소이용율은 적어지는 경향이였다. 적겨자의 수량은 유박비료 사용량에 따라 13,670~14,460 kg ha⁻¹ 범위로 유박비료 사용량이 증가해도 수량 증수는 없는 것으로 나타났다. 적겨자 재배시 최고 수량보다는 경제적이고 친환경적인 양분관리가 필요한데, ECF 50 (924 kg ha⁻¹), 75 (1,386 kg ha⁻¹) 시험구에 사용한 사용량 정도로 적겨자 재배시 유박비료 사용기준으로 활용 가능할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

JARES (Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services). 2009. Research journal of Jeonbuk agricultural. JARES, Iksan (in Korea).

Jeollabuk-Do. 2010. Statistics system for status of Jeonbuk provincial government. Jeonbuk (in Korea).

Jung, B.G., J.W. Choi, E.S. Yun, J.H. Yoon, Y.H. Kim, and G.B. Jung. 1998. Chemical properties of the horticultural soils the plastic film houses in Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 31(1):9-15.

Kwak, H.K., Y.S. Song, B.Y. Yeon, W.K. Oh, and S.J. Jung. 2001. Improvement of a nitrogen fertilizer recommendation model by introducing a concept of the Mitscherlich-Baule-Spillman equation. Korean J. Soil Sci. Fert. 34(5):311-315.

Kwak, H.K., K.S. Seong, N.J. Lee, and S.B. Lee. 2003. Changes in chemical properties and fauna of plastic film house soil by application of chemical fertilizer and composted pig manure. Korean J. Soil Sci. Fert. 36(5):304-310.

Kim, J.G., K.B. Lee, D.B. Lee, S.B. Lee, and S.J. Kim. 1998. Effect of chicken manure compost application on the growth of vegetables and nutrients utilization in the upland soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 31(2):177-182.

Lee, S.B., Y.E. Na, and M.H. Kor. 2000. Assays of the biological activities in arable soil. p 138-155. In Research report of agro-environment research. National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Korea.

Lee, Y.H., S.T. Lee, S.D. Lee, and Y.B. Kim. 2005. Chemical characteristics of soil and groundwater in plastic film house fields under fertigation system. Korean J. Environ. Agri. 24(4):326-333.

Lee, Y.H., S.G. Lee, S.H. Kim, J.H. Shin, D.H. Choi, Y.J. Lee, and H.M. Kim. 2006. Investigation of the utilization of organic material and the chemical properties of soil in the organic farms in Korea. Korean J. Organ. Agri. 14(1):55-67.

Lee, Y.H., B.K. Ahn, and Y.K. Sonn. 2011. Effect of electrical conductivity on the soil microbial community in a controlled horticultural land for strawberry cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(5):830-835.

Min, K.B., H.S. Cho, J.I. Lee, and Y.K. Nam. 1995. Effect of fermented pig manure-sawdust compost on the yield and mineral nutrition of tomato in the plastic film house. Korean J. Soil Sci. Fert. 28:88-94.

Moon, Y.H., B.K. Ahn, and S.S. Cheong. 2012. Management of recycled nutrient resources using livestock waste in large-scale environment-friendly agricultural complex. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(2):177-184.

NIAS (National Institute of Agriculture Science & Technology). 2006. Fertilization standard on crops. NIAS, Rural Development Administration, Korea. p. 106.

NIAS (National Institute of Agriculture Science & Technology). 2010. Method of soil and plant analysis. NIAS, Rural Development Administration, Korea.

Oh, J.S., L.J. Sung, K.H. Kang, H.T. Kim, W.B. Chung, and S.J. Jeong. 2001. Effect of continuous application of organic farming materials on the soil physicochemistry property and plant growth, yield and components of tomato. Korean J. Organ. Agri. 9(1):91-108.

Song, S.M., D.H. Han, and Y.H. Kim. 1996. Chemical characteristics of soils cultivated by the conventional farming, greenhouse cultivation and organic farming and accumulation of NO₃⁻ in chinese and lettuce. Korean J. Organ. Agri. 5:149-164.