

사업구분 : 기본연구	Code 구분 : ES0102	농업환경(전반기)
연구과제 및 세부과제명	연구기간	연구책임자 및 참여연구원(☎)
시설재배지 토양염류 경감 연구	'06	경기도원 환경농업연구과 강창성(229-5821)
시설토마토 질소 관비농도 구명 시험	'06	경기도원 환경농업연구과 노안성(229-5826) (참여연구원) 강창성, 조광래
색인용어	시설재배지, 관개수, 토마토, NO ₃ -N, 관비	

ABSTRACT

This experiment was conducted to establish the optimum rate of nitrogen fertigation for tomato cultivation in plastic film house. Application levels of nitrogen fertigation were 0, 35, 60, 85 mg L⁻¹ and the nitrogen fertigation was supplied by drip-irrigation system under -23kPa~-15kPa of soil water potential. The nitrate contents in soils and leaves of tomato were increased in proportion to the nitrogen concentration of fertigated solution. The rate of nitrogen absorption by tomato in spring cultivation was similar to that of in autumn cultivation. By the nitrogen fertigation, nitrogen fertilizer could be reduced by 41% for acquiring the same yield of tomato in the recommended nitrogen fertilization plot with solid urea. The equation for calculating the suitable concentration of nitrogen fertigation was as follows : $EAN \div AVI \times 1,000$ [EAN = (ANS · 0.59) - (NIW · AVI) · 1,000⁻¹, EAN = Equation on Application rate of nitrogen fertigation(kg ha⁻¹), ANS = Application rate of nitrogen by soil test(kg ha⁻¹), NIW = Nitrate content in irrigation water(mg L⁻¹), AVI = Amount of irrigation(Mg ha⁻¹)] .

Key words : Nitrogen, Fertigation, Irrigation, Tomato

1. 연구목표

시설재배지의 염류집적을 경감하기 위해서는 시비관리의 개선이 시급하며 작물의 생산성을 유지하면서 환경친화적으로 토양양분을 관리하기 위한 방법으로는 작물의 양분흡수량을 기준으로 시비하는 방법, 토양중 적정 양분농도를 유지하는 방법, 작물체 분석을 통한 작물 자체의 양분상태를 기준으로 하는 방법 등이 알려져 있다. 이러한 다양한 시비 방법중에서 관수와 시비를 동시에 실시하여 추비 노력이 절감되고 비료량을 쉽게 조절할 수

있는 관비재배가 선호하고 있다. 관비재배는 토양의 고유기능인 양분공급능력과 완충능력을 이용하면서 작물이 필요로 하는 시기에 필요한 양의 비료과 물을 과부족 없이 동시에 공급하는 재배방식이다. 이와 같이 생육에 필요한 물과 비료를 어떻게 알맞게 관비하느냐는 수량뿐만이 아니라 수확물의 품질과 토양환경에도 영향을 미친다. 하지만 시비량 및 시비간격, 시비농도는 작물별로 확립되지 않아 기존의 추비 형식에서 크게 벗어 나지 못하고 있어 적정 관비농도 설정에 대한 연구가 필요하다.

관비에 관한 연구로는 가축뇨를 이용한 관비재배(김 등, 1997 ; 원 등, 2000)와 농산부산물의 발효액을 이용한 관비재배(조 등, 2000 ; 주 등, 2001) 등이 있으나, 가축뇨는 위생적인 문제점이 있고, 농산부산물의 발효액은 비료성분 함량이 낮고 또한, 제조시 마다 성분함량도 일정하지 않아 관비시 노동력이 많이 투입되기 때문에 효율성이 떨어진다고 생각된다. 따라서 최근에는 산출된 토양검정시비량을 기준으로 추비개념으로 분시하여 질소 시비량을 절감하는 연구와 관비액의 염농도를 기준으로 관비농도를 결정하여 관비하는 연구 등이 보고 되었다(박 등, 2001 ; 임 등, 2001). 하지만 작물의 수확기나 생육기간이 일정하지 않은 작물에서는 적용하기 어려운 문제점이 있고 관비액의 염농도만을 기준으로 시비할 경우 토양의 염류집적이 예상되기도 한다. 따라서, 본 시험은 관비 재배시 관개수에 함유되어 있는 질산태질소를 고려한 적정질소 관비농도를 설정하기 위하여 시설토마토를 시험작물로 하여 포장시험을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

본 시험은 2006년도 경기도농업기술원의 시설재배지(비가림 하우스)에서 지하수내에 함유된 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)함량을 고려한 적정 질소 관비농도를 설정하고자 포장시험을 봄과 가을 재배하여 총 2회 수행하였다. 시험포장의 토양화학적 성분은 유기물과 유효인산 함량은 다소 낮고, 전기전도도는(EC) 3.65 dS m^{-1} 로 전국 평균 EC 3.5 dS m^{-1} (농촌진흥청, 2004)와 비슷한 수준의 사양토였다(표 1).

표 1. 시험전 토양의 화학성

구 분	pH (1 : 5)	OM (g kg^{-1})	Av. P_2O_5 (mg kg^{-1})	Ex.Cations(cmol kg^{-1})				EC (dS m^{-1})
				K	Ca	Mg	Na	
2006	6.2	12.3	497	1.32	5.93	2.17	0.57	3.65

처리내용은 표 2에서와 같이 토양검정 질소 시비구를 대조로 무질소, 질소 35mg L^{-1} , 질소 60mg L^{-1} , 질소 85mg L^{-1} 관비구 등 5처리를 두었다. 시험구면적은 $1.2 \times 6.0 = 7.2\text{m}^2$ 로 배치는 난괴법 3반복으로 하였으며 시험작물 정식 3주전에 벚짚을 포장전면에 사용한 후 경운 및 정지하였다. 토마토 재배는 수퍼도태랑을 시험품종으로 하여 봄재배는 3월 15

일 정식하여 7월 25일까지 수확하였고 가을재배는 8월 8일 정식하여 12월 11일까지 수확하였다. 재식거리는 60 × 35cm 2조식으로 하여 벧짚으로 피복을 하였으며, 물관리는 수분장력계(텐시오미터)를 토심 15cm 지점에 묻고 -23kPa에서 관비를 시작하고 -15kPa에서 관비를 종료할 수 있도록 자동관수장치를 설치하여 제어하고 각 처리구별로 디지털 유량계를 설치하여 관수량을 조사하였다. 인산시비방법은 검정시비량에 해당되는 용과린을 토양검정시비구와 관비시비구 모두 전량 기비로 사용하였다. 토양검정시비구의 칼리시비는 염화칼리로 기비 60%, 추비40%를 3회 분시하였으며, 관비시비구에서는 토양검정시비량의 염화칼리를 정식 후 30일부터 물에 녹여 3회 나누어 관비하였다(표 3). 토양검정시비구의 질소시비방법은 검정시비량에 해당되는 요소로 기비 40%, 추비 60%를 4회 분시하였으며, 질소관비는 정식 후 활착기까지 일반지하수를 관수하고 정식 후 4주 부터 각 처리구별로 설치된 200L 플라스틱 희석탱크에 해당 질소 농도가 되도록 요소를 균일하게 녹여 토양수분센서에 의한 자동관수장치를 이용하여 점적 관비하였다.

표 2. 관비농도별 질소투입량 및 총관수량

처리내용	질소투입량(kg ha ⁻¹)		관수량(Mg ha ⁻¹)	
	봄재배	가을재배	봄재배	가을재배
1) 토양검정시비	125	175		
2) 무질소	-	-		
3) 질소 35mg L ⁻¹	64	73	3,500	2,322
4) 질소 60mg L ⁻¹	110	124		
5) 질소 85mg L ⁻¹	156	176		

표 3. 토양검정 시비량(kg ha⁻¹)

구 분	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
봄	125	110	99
가을	175	109	150

토양 및 식물체 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법(농촌진흥청, 1988)에 준하였다. 토양은 시료를 음건시킨 후 2mm 체를 통과시킨 것을 분석시료로 하였다. 분석방법으로 EC(Electrical conductivity)는 시료와 증류수를 1 : 5(w/v) 비율로 혼합하여 30분간 진탕한 후 여액을 EC meter(Orion ATI 170)로 측정하였으며, NO₃-N는 시료를 2M KCl 용액으로 침출하여 Kjeldahl법으로, pH는 시료와 증류수를 1 : 5(w/v) 비율로 혼합하여 pH meter(ATI orion 370)로 측정하였으며, Av.P₂O₅ 함량은 Lancaster법에 따라 분광분석기(GBC Cintra 40)로 비색 정량하였고, Exchangeable Cations는 1N-NH₄OAC(pH 7.0) 완충

용액으로 침출하여 ICP(GBC Integra XMP)로 정량하였다. 토마토는 6단 재배하여 측지는 5cm 이하에서 제거하도록 노력하였으며, 화방당 착과수는 조절하지 않았다. 봄재배 수정은 나투벌을 투입하였고 가을재배에서는 토마토란을 살포하였다. 과실의 특성조사를 위하여 수확기에 각 화방별로 5과씩 선별하여 당도와 총질소 함량, 비타민 C 함량을 조사하였으며 당도는 굴절당도계(Atago PAL-1)를 이용하였으며, 비타민 C 함량은 간이측정장치(MERCK RQflex plus)로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 토마토의 생육 및 수량

토마토의 생육상황은 표 4와 같다. 초장과 생체중은 질소 관비농도가 증가할수록 커지는 경향을 보였고 초장은 봄재배 보다는 가을재배에서 생육상태가 양호하였으며, 생체중은 토양검정시비구를 제외하고 봄재배에서 증가하였다. 봄재배 토양검정시비구와 대등한 생육상태의 관비처리구 질소농도는 35mg L⁻¹에서 60mg L⁻¹사이에서 나타났으며 가을재배에서는 관비처리구 질소농도는 60mg L⁻¹에서 85mg L⁻¹사이에서 대등한 생육상태를 보였다.

표 4. 처리별 토마토의 생육특성

처 리 내 용	초장(cm)		엽장(개 주 ⁻¹)		경경(mm)		생체중(g 주 ⁻¹)	
	봄	가을	봄	가을	봄	가을	봄	가을
1) 토양검정시비	192.3	212.7	45.2	49.3	15.2	15.4	893.3	973.0
2) 무질소	182.0	210.5	44.7	50.8	13.2	14.2	769.5	768.8
3) 질소 35mg L ⁻¹	193.8	210.7	44.3	46.5	14.6	15.4	873.2	819.2
4) 질소 60mg L ⁻¹	199.2	211.8	46.2	50.5	13.6	16.2	1089.3	908.0
5) 질소 85mg L ⁻¹	205.3	213.5	46.8	49.5	14.0	16.4	1133.0	1005.7

봄재배(130일 재배)와 가을재배(123일 재배) 모두 질소 관비농도가 증가할수록 토마토의 상품과 수량은 증가하였다. 봄재배와 가을재배 상품과 수량은 차이가 있었지만 봄재배와 가을재배 모두 토양검정시비구와 관비처리구 질소농도 35mg L⁻¹에서 60mg L⁻¹사이에서 대등한 토마토 상품과 수량을 나타냈다. 하지만 봄재배에서는 무질소구와 관비처리구 간의 통계적 유의성은 나타나지 않았다.

표 5. 토마토의 수량

처 리 내 용	상품과 수량(Mg ha ⁻¹)		
	봄재배	가을재배	평 균
1) 토양검정시비	105.95	75.48	90.72
2) 무질소	96.90	72.56	84.73
3) 질소 35mg L ⁻¹	105.50	75.53	90.52
4) 질소 60mg L ⁻¹	106.55	76.48	91.52
5) 질소 85mg L ⁻¹	111.69	80.33	96.01

LSD(0.05) 15.094 7.538
 CV(%) 7.88 5.26

나. 관비수준별 토양화학성 변화

재배기간중 관비실시 후 30일부터 3회 토양중 질산태질소 함량을 조사한 결과는 표 6과 같다. 토양중 질산태질소 함량은 질소 관비농도가 증가할수록 증가하였다. 봄재배의 무질소구 질산태질소 함량은 질소 관비농도 35mg L⁻¹ 와 비슷한 수준이었으나 가을재배에서는 7mg kg⁻¹ 까지 감소하였다. 이는 토마토의 생육과 수확으로 토양중 질산태질소를 흡수하는 양이 증가하여 토양중에 잔류되는 질산태질소 함량이 감소하는 것으로 추정된다. 한편, 봄재배 토양검정시비구와 질소 관비농도 60mg L⁻¹ 이상 85mg L⁻¹ 사이에서 비슷한 수준의 질산태질소 함량이 조사되었으며 가을재배에서는 관비농도 85mg L⁻¹ 처리구 보다 토양검정시비구의 질산태질소 함량이 높게 조사되었다. 가을재배에서는 검정질소시비량과 같은 질소관비구에서 토양중 질산태질소 함량이 더 낮게 조사되었는데 이는 관비처리로 비료의 이용율이 증대되어 토양의 질소 잔류량이 감소한 결과로 생각된다.

표 6. 재배기간중 토양 질산태질소 함량(mg kg⁻¹)

처 리 내 용	시험전	봄재배			가을재배		
		정식30	60일	90일	정식30	60일	90일
1) 토양검정시비	105	35	21	25	18	32	31
2) 무질소	105	24	10	16	10	13	7
3) 질소 35mg L ⁻¹	105	25	12	15	12	10	15
4) 질소 60mg L ⁻¹	105	33	23	22	17	31	19
5) 질소 85mg L ⁻¹	105	30	32	28	28	41	25

시험후 토양화학성은 표 7과 같다. 시험전에 비하여 인산 함량은 큰 변화가 없었으며, Ex-Ca, Ex-K, Mg 함량은 질소관비 농도가 증가함에 따라 감소하였는데 이는 질소흡수량

에 따라 Ex-Ca, Ex-K, Mg도 비례하여 흡수량이 증가하는 것으로 보인다. 토양염농도와 NO₃-N 함량은 시험전에 비하여 전체적으로 감소하였으며 모든 관비농도 처리구에서 염류 집적은 나타나지 않은 것으로 판단되었다. 시험후 토양 pH는 질소 관비량이 증가할수록 감소하였으나 질소관비 60mg L⁻¹까지는 큰 변화가 없었다. 이는 요소의 질산화 작용으로 인한 수소이온의 농도 증가 때문으로 생각된다.

표 7. 시험후 토양화학성

구 분	pH (1 : 5)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex.Cations(cmol kg ⁻¹)				EC (dS m ⁻¹)
				K	Ca	Mg	Na	
1) 토양검정시비	5.7	11.0	428	0.48	5.38	1.66	0.33	1.61
2) 무질소	6.7	11.0	398	0.78	5.55	1.78	0.30	1.03
3) 질소 35mg L ⁻¹	6.2	11.7	427	0.67	5.56	1.83	0.43	1.62
4) 질소 60mg L ⁻¹	6.1	11.8	408	0.65	5.35	1.72	0.40	1.55
5) 질소 85mg L ⁻¹	5.9	11.7	434	0.43	5.38	1.66	0.42	1.63

다. 토마토 과실 특성과 건조중 질소 함량

토마토 당도와 비타민 C 그리고 건조중 질소함량은 표 8과 같다. 토마토 당도는 봄재배와 가을재배 모두 토양검정시비구에서 약간 높게 조사되었으며, 관비농도에 따라 경향성은 나타나지 않았다. 비타민 함량은 가을재배 보다 봄재배에서 높게 조사되었으며 관비구 보다 토양검정시비구에서 높았다. 총질소 함량은 처리간에 차이가 없었으며 봄재배 보다 가을재배의 질소함량이 높았다.

표 8. 토마토 과실 특성과 건조중 질소 함량

처 리 내 용	당도(°Bx)		vit. C(mg 100g ⁻¹)		T-N(%)	
	봄재배	가을재배	봄재배	가을재배	봄재배	가을재배
1) 토양검정시비	5.47 ^a	4.28 ^a	14.90 ^a	9.45 ^a	1.56 ^a	1.98 ^a
2) 무질소	4.87 ^c	3.87 ^{ab}	12.77 ^b	8.15 ^{ab}	1.48 ^a	1.84 ^a
3) 질소 35mg L ⁻¹	5.07 ^{bc}	3.80 ^b	12.13 ^b	7.25 ^b	1.54 ^a	1.93 ^a
4) 질소 60mg L ⁻¹	5.27 ^{ab}	4.17 ^{ab}	13.27 ^b	8.54 ^{ab}	1.57 ^a	2.03 ^a
5) 질소 85mg L ⁻¹	5.10 ^{bc}	3.98 ^{ab}	12.53 ^b	8.83 ^{ab}	1.65 ^a	1.89 ^a

라. 질소흡수이용율

봄재배와 가을재배시 질소관비구의 질소흡수이용율은 토양검정시비구에 비해 높았다. 일반적으로 관비농도가 증가할수록 질소흡수이용율은 감소하나 가을재배에서 질소관비량

이 증가에 따라 $85\text{mg L}^{-1} > 60\text{mg L}^{-1} > 35\text{mg L}^{-1}$ 순으로 질소흡수이용율이 높았다. 봄재배에서는 60mg L^{-1} 에서 최고의 질소흡수이용율을 나타냈다. 하지만 토양검정시비구와 관비질소시비구의 질소흡수이용율은 봄재배와 가을재배 모두 비슷한 수준이었다. 이는 재배시기와 관계없이 고품비로 시비보다는 관비에서 질소의 흡수이용율이 높다는 것을 보여주었다(표 9).

표 9. 관비 수준별 질소흡수이용율(%)

처 리 내 용	봄재배	가을재배
1) 토양검정시비	16.8	17.0
2) 무질소	-	-
3) 질소 35mg L^{-1}	24.2	22.8
4) 질소 60mg L^{-1}	29.3	28.9
5) 질소 85mg L^{-1}	28.7	29.4

라. 토마토 관비 재배시 적정질소 관비농도

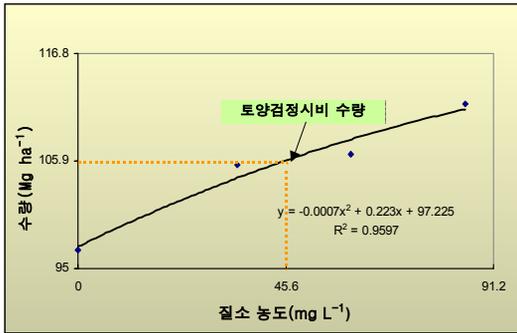
토마토 재배시기별로 질소 관비농도와 수량과의 관계를 나타낸 것은 그림 1과 같다. 봄재배에서 토양검정 질소시비(125kg ha^{-1}) 수량과 대등한 질소 관비농도는 45.6mg L^{-1} 이었으며 시비량으로 환산하면 91kg ha^{-1} 으로 토양검정시비량 대비 27%의 질소가 절감되는 효과가 있었다. 가을재배시는 토양검정 질소시비(175kg ha^{-1}) 수량과 대등한 질소 관비농도는 36.3mg L^{-1} 이었으며 시비량으로 환산하면 82kg ha^{-1} 으로 토양검정시비량 대비 55%의 질소가 절감되는 효과가 있었다. 따라서 봄재배에는 $3,500\text{ Mg ha}^{-1}$, 가을재배에는 $2,322\text{ Mg ha}^{-1}$ 관개수에 토양검정시비량과 같은 양의 질소비료를 관비할 경우 평균 41%의 질소가 절감되는 효과가 있었다.

따라서 재배기간중 관개량과 관개수중의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량을 고려하고 토양검정시비량에 대한 질소 절감율을 감안하여 다음과 같은 산출식에 의하여 질소 관비농도를 계산할 수 있다.

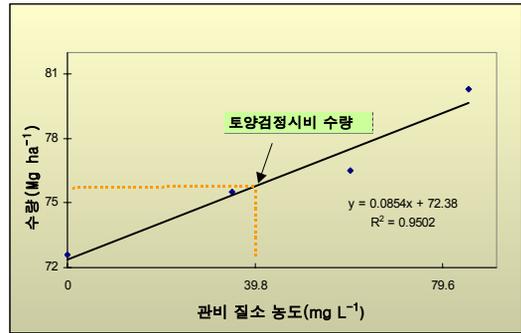
- ① 질소 시비량 산출식(kg ha^{-1})

$$= \{ \text{토양검정질소시비량}(\text{kg ha}^{-1}) \times 0.59 \} - \{ \text{관개수중 NO}_3\text{-N}(\text{mg L}^{-1}) \times \text{관개량}(\text{Mg ha}^{-1}) \div 1,000 \}$$
- ② 질소관비 농도 산출식(mg L^{-1})

$$= \text{질소시비량}(\text{①}) \div \text{관개량}(\text{Mg ha}^{-1}) \times 1,000$$



<봄재배>



<가을재배>

그림 1. 토마토 재배시기별 질소 관비농도와 수량과의 관계

표 10. 토마토 재배시 적정질소 관비농도

재배시기	상관회귀식	적정질소 관비농도	비고
봄	$Y = -0.0007x^2 + 0.223x + 97.225$ (Y=수량, x=질소관비농도)	45.6mg L ⁻¹	토양검정 질소 시비량 125 kg ha ⁻¹ 대비 27% 절감
가을	$Y = 0.0854x + 72.38$ (Y=수량, x=질소관비농도)	36.3mg L ⁻¹	토양검정 질소 시비량 175 kg ha ⁻¹ 대비 55% 절감

4. 적 요

시설토마토에 대한 질소관비 재배시 적정 질소 관비농도를 산출하고자 토양검정 질소 시비량(고형비료시용)을 대조로 하여 질소 농도 35mg L⁻¹, 60mg L⁻¹, 85mg L⁻¹관비(토양 수분장력 -15~-23kPa) 등 5처리를 두어 사양토에서 포장시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

- 가. 봄재배의 토양검정 질소시비 수량과 대등한 질소 관비농도는 45.6mg L⁻¹이었으며 토양검정시비량 대비 27%의 질소 시비량이 절감되었으며, 가을재배의 토양검정 질소 시비 수량과 대등한 질소 관비농도는 36.3mg L⁻¹, 질소시비량은 55% 가 절감되었다.
- 나. 토양의 염농도와 NO₃-N 함량은 질소관비 농도가 높을수록 증가하였으나 염류집적은 없었다.
- 다. 토마토의 생육상태는 질소 관비농도가 증가할수록 생육량이 증가하였으며 토양검정 시비구와 대등한 질소농도는 35mg L⁻¹와 60mg L⁻¹사이 수준이었다.
- 라. 시설토마토에 대한 질소관비 재배시 토양검정 질소 시비구의 수량에 해당하는 질소 관비 농도 산출식은 다음과 같다.

① 질소 시비량 산출식(kg ha⁻¹)

$$= \{ \text{토양검정질소시비량(kg ha}^{-1}) \times 0.59 \} - \{ \text{관개수중 NO}_3\text{-N(mg L}^{-1}) \times \text{관개량(Mg ha}^{-1}) \} \div 1,000$$

② 질소관비 농도 산출식(mg L⁻¹)

$$= \text{질소시비량(①)} \div \text{관개량(Mg ha}^{-1}) \times 1,000$$

5. 인용문헌

- 김기덕, 박창규, 원선이, 유창재. 1997. 가축노의 관비재배 기술연구. 경기도원시험연구보고서. 486-492.
- 농촌진흥청. 농업과학기술원. 2004. 2004년도 농업환경변동조사사업 보고서.
- 농촌진흥청. 2000. 토양 및 식물체 분석법.
- 박찬웅, 조광래, 원선이, 박경열. 2001. 시설상추 화학비료 관비재배 효과 시험. 경기도원시험연구보고서. 348-357.
- 송관철, 정석재, 손연규. 2003. 시설재배지의 합리적 수분관리. 시설재배토양환경연구제 3회 워크샵. 35-47.
- 엄기철. 2004. 한국농업의 환경과 생태전망. 한·리(자연·인간·환경)환경과학 국제심포지엄. 20-40.
- 임재현, 이인복, 박진면. 2001. 절화장미의 생육 및 수량에 미치는 질소와 칼리의 관비농도. 한토비지. 34(6) : 413-420.
- 원선이, 박창규, 조광래, 양장석. 2000. 가축 Slurry 액비를 이용한 시설고추의 관비재배 효과에 관한 연구. 경기농업연구 10. 95-100.
- 조광래, 박창규, 박찬웅. 2000. 오이재배 유박액 시용효과 시험. 경기도원시험연구보고서. 398-407.
- 주선중, 손상목, 김진한. 2001. 하우스 엽채류를 위한 관비재배용 유기액비 개발. 한국유기농업학회지. 83-99.