

과제구분	경상기본 Code : ES 0102	수행시기	전반기	연구기간	2003~2004
연구과제명	시설 원예작물 관비재배 연구			과제책임자	조 광 래
세부과제명	시설상추에 대한 관개수 함유질소 효율 및 관비농도 구명 시험				
책임용어	시설상추, 관비, 관개수, 질소효율, NO ₃ -N				
연구원별 임무					
구분	소속	성명	전화번호	담당업무	
세부과제책임자	경기도원, 환경농업연구과	조광래	031)229-5822	시료채취, 연구총괄	
공동연구자	"	강창성	031)229-5821	수량조사	
	"	노안성	031)229-5825	토양분석	
	"	심재만	031)229-5824	식물체 분석	
	"	박경열	031)229-5820	연구자문	

ABSTRACT

This experiment was conducted to establish the optimum rate of nitrogen fertigation for lettuce cultivation in plastic film house. Ground water was irrigated by drip irrigation system and the nitrate concentration in ground water was 10mg L⁻¹. The amounts of irrigation water for lettuce cultivation were 300Mg ha⁻¹ in spring and 200Mg ha⁻¹ in autumn. Application rates of nitrogen fertigation were 0, 33, 66, and 99kg ha⁻¹ in spring, respectively and 0, 64, 128, and 192kg ha⁻¹ in autumn. The nitrate contents in soils and leaves of lettuce were increased on proportion to the concentration of nitrogen fertigation. The rate of nitrogen absorption by the lettuce was higher in spring cultivation than in autumn. By the nitrogen fertigation, nitrogen fertilizer could be reduced by 19% for acquiring the same yield of lettuce in the recommended nitrogen fertilization plot with solid urea. The equation on application rate of nitrogen fertigation was as follows : $E_{AN} = (A_{NS} \cdot 0.81) - (N_{IW} \cdot A_{VI}) \cdot 1,000^{-1}$ [E_{AN} = Equation on application rate of nitrogen fertigation(kg ha⁻¹), A_{NS} = Application rate of nitrogen by soil test (kg ha⁻¹), N_{IW} = Nitrate content in irrigation water (mg L⁻¹), A_{VI} = Aim volumn of irrigation(Mg ha⁻¹)] .

Key wards : Nitrogen, Fertigation, Ground wate, Irrigation, Lettuce

1. 연구목표

관비란 작물이 필요로하는 시기에 물과 비료를 동시에 공급하는 정밀농법의 한 분야로서, 시비작업의 생력화, 비료와 노동력의 절감, 시비효율의 증대, 시비양분의손실 절감, 토양침식의 보전 등 잇점이 있다(엄, 2004).

관개의 형태를 보면 과거에는 대부분의 농가가 물만 관개를 하였으나, 최근에는 관개시 비료를 같이 사용하는 관비농가가 점차 증가하고 있다(송 등, 2003).

관비에 관한 연구로는 가축뇨를 이용한 관비재배(김 등, 1997 ; 원 등, 2000)와 농산부산물물의 발효액을 이용한 관비재배(조 등, 2000 ; 주 등, 2001) 등이 있으나, 가축뇨는 위생적인 문제점이 있고, 농산부산물물의 발효액은 비료성분 함량이 낮고 또한, 제조시 마다 성분함량도 일정하지 않아 관비시 노동력이 많이 투입되기 때문에 효율성이 떨어진다고 생각된다. 따라서 최근에는 화학비료를 이용한 관비재배(박 등, 2001 ; 임 등, 2001) 연구가 활발히 진행되고 있으며, 농촌진흥청 농업과학기술원에서 관비기술체계 확립에 노력하고 있다(엄, 2004). 그러나 화학비료를 사용한 관비재배시 관개수에 함유된 무기태질소를 비료개념으로 보아 질소질비료를 절감하는 시험은 없는 실정이다.

본 연구에서는 질소관비 재배시 지하수중의 NO₃-N 함량을 고려하여 질소질비료를 얼마나 시용하여야 하는 것을 설정하기 위해 시설상추를 시험작물로 하여 포장시험을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

본 시험은 2003년도 부터 2004년 까지 경기도농업기술원의 시설재배지(비가림 하우스)에서, 시설상추에 대해 지하수내에 함유된 질소(NO₃-N)을 고려한 적정 질소 관비농도를 설정코자 포장시험을 수행하였다. 시험포장의 토양화학성은 유기물, 유효인산, 전기전도도 등이 다소 낮은 사양토였다(표 1).

표 1. 시험전 토양의 화학성

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	
봄	6.6	9	224	0.51	8.3	2.2	0.48	2.06
가을	6.8	11	236	0.38	7.5	2.0	0.26	1.02
평균	6.7	10	230	0.45	7.9	2.1	0.37	1.54

처리내용은 표 2에서와 같이 토양검정 질소 시비구를 대조로 질소 부족분 50, 100, 150% 관비구 등 8처리를 두었다. 관개량은 봄재배에는 3000Mg ha⁻¹, 가을재배에는 2000Mg ha⁻¹ 이었으며, 관개수 중의 NO₃-N 함량은 토양검정 질소 시비, 무처리, NO₃-N 10mg L⁻¹ 해당량 시비구는 1mg L⁻¹ 이하였고, 질소 부족분 50, 100, 150% 관비, 질소 부족분 100% 시비구는 10mg L⁻¹ 이었다. 질소의 시비형태는 요소비료로서 토양검정 질소 시비, NO₃-N 10mg L⁻¹ 해당량 시비, 질소 부족분 100% 시비구는 고행비료로 시비하였으며, 질소 부족분 50, 100, 150% 관비구는 관비로 시비하였다.

표 2. 처리내용별 질소투입량

처리내용	질소 투입량(kg ha ⁻¹)			
	봄재배		가을재배	
	관 개 수 에 의한 투입량	화 학 비 료 에 의한 투입량	관 개 수 에 의한 투입량	화 학 비 료 에 의한 투입량
1)토양검정 질소 시비	0	96	0	148
2)무처리	0	0	0	0
3)NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 관개	30	0	20	0
4)질소 부족분 50% 관비 + 3)	30	33	20	64
5)질소 부족분 100% 관비 + 3)	30	66	20	128
6)질소 부족분 150% 관비 + 3)	30	99	20	192
7)NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 해당량 시비	0	30	0	20
8)질소 부족분 100% 시비 + 3)	30	66	20	128

시비방법은 관비구에서는 질소는 요소로 봄재배는 상추 정식후 15일 간격으로 5회, 가을재배는 10일 간격으로 5회 균등히 관비하였으며, 인산은 용과린으로 전량 고품비료로 기비에 주고, 칼리는 염화칼리로 질소와 동시에 관비하였다. 고품비료구에서는 질소는 요소로 기비에 40% 주고, 추비는 봄재배는 상추 정식후 20일 간격 3회, 가을재배는 10일 간격 3회 나누어 주었으며, 인산은 용과린으로 전량 기비에 주고, 칼리는 염화칼리로 요소의 분시비율과 같은 방법으로 동시에 시비하였다(표 3).

표 3. 상추 재배시기별 화학비료 시용량(토양검정 시비량)

구 분	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	K ₂ O (kg ha ⁻¹)
봄	96	197	213
가을	148	191	230

시험구의 면적은 1.5m × 3.0m = 4.5 m²로 난괴법 3반복으로 하였다. 시험작물은 백일청 치마상추로서 재배기간은 봄에는 4월 1일부터 6월 30일 까지 3개월, 가을에는 9월 1일부터 10월 30일 까지 2개월간 재배하였다. 재식거리는 25cm × 25 cm 로 비닐을 피복하지 않은 상태에서 재배하였다. 관개방법은 수량계가 부착된 점적호스를 이용하여 관개하였다.

분석용 토양은 시료채취 후 그늘에서 건조하여 2 mm 체를 통과시킨 것을 사용하였다. EC는 건토와 증류수를 1 : 5 비율로 혼합하여 30분간 진탕한 후 여액을 EC meter(ATI orion 170)로 측정하였으며, NO₃-N는 2 M KCl 용액으로 침출하여 Kjeldahl법으로 분석하였다. 상추 생체내 NO₃-N는 시료 50g에 증류수 200ml 가한 후 분쇄하여 Kjeldahl법으로 분석하였고, 기타는 농촌진흥청 농업기술연구소 토양화학분석법(1988)에 준하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 관개수내에 함유된 NO₃-N의 비료적 가치

관개수 중의 NO₃-N의 비료적가치를 구명하기 위하여 NO₃-N가 10mg L⁻¹인 지하수를 봄에는 3000Mg ha⁻¹, 가을에는 2000Mg ha⁻¹를 관개하고, 각각 이에 해당하는 질소의 양 30kg ha⁻¹, 20kg ha⁻¹을 화학비료(요소)로 사용(고형비료)하여 검토한 결과는 표 4와 같다. 질소 화학비료 시용구를 1.00으로 보았을때, NO₃-N 10mg L⁻¹ 관개구의 수량은 0.98, 질소흡수량은 1.00, 질소흡수이용율은 0.98로 나타나 관개수 중의 NO₃-N 함량이나 이에 상응하는 질소 화학비료의 비료효율은 같은 것으로 조사되었다. 따라서 관개수의 NO₃-N 함량과 관개량을 알면 부족한 질소 시비량은 다음과 같은 계산식에 의해 이론적으로 추정할 수가 있다.

$$E_{AN} = A_{NS} - (N_{IW} \cdot A_{VI}) \cdot 1,000^{-1}$$

- E_{AN} = 질소시비량 산출식(kg ha⁻¹)
- A_{NS} = 토양검정 질소시비량(kg ha⁻¹)
- N_{IW} = 관개수중의 NO₃-N(mg L⁻¹) 함량
- A_{VI} = 목표 관개량(Mg ha⁻¹)

표 4. 관개수내에 함유된 NO₃-N의 비료적 가치

처리내용	수량		질소흡수량		질소흡수이용율	
	Mg ha ⁻¹	화학비료 대 비	kg ha ⁻¹	화학비료 대 비	%	화학비료 대 비
1) NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 지하수 관개	27.37	0.98	55.2	1.00	20.0	0.98
2) NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 해당량 질소 고형비료 시비	27.79	1.00	55.2	1.00	20.4	1.00

나. 질소 시비방법별 토양중 NO₃-N 함량의 경시적 변화

봄재배시 질소 관비수준별 토양중의 NO₃-N 함량의 경시적 변화를 조사한 결과는 그림 1과 같다. 토양중 NO₃-N 함량은 질소수준이 높을 수록 증가하였다. 상추 정식후 40일에서 80일 까지의 NO₃-N 함량을 시기별로 보면, 질소 33kg ha⁻¹, 66kg ha⁻¹ 관비구에서는 60일에서 다소 감소하다가 80일에서 다시 증가하였으나, 질소 99kg ha⁻¹ 관비구에서는 계속 증가하였으며, 80일 이후 부터는 모두 감소하는 경향이였다.

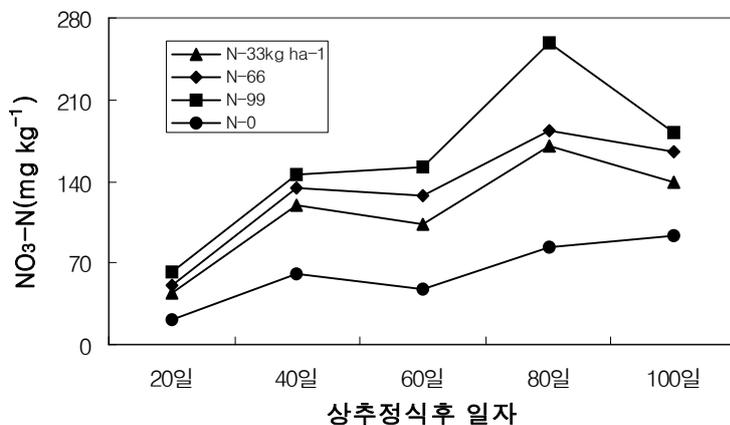


그림 1. 질소 관비 수준별 토양중 NO₃-N 함량의 경시적 변화(봄재배)

같은 수준의 질소를 고형비료로 시비 할 때와 관비로 줄 때의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 변화를 비교해 보면, 그림 2에서와 같이 관비구에서 낮은 것으로 조사되었다. 이는 관비를 함으로서 질산화작용의 촉진으로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 상추에 많이 흡수(표 6)되어 축적량이 적어진 것으로 생각된다. 한편 관개수내의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 질소효율을 조사하기 위해 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 10mg L^{-1} 인 지하수를 관개 할 때와, 이에 상응하는 질소량을 화학비료(고형비료)로 시비 할 때의 토양중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량을 조사한 결과, 시기별로 큰 차이 없이 비슷하여 관개수 중의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 비료적 가치가 있는 것으로 생각되었다(그림 3).

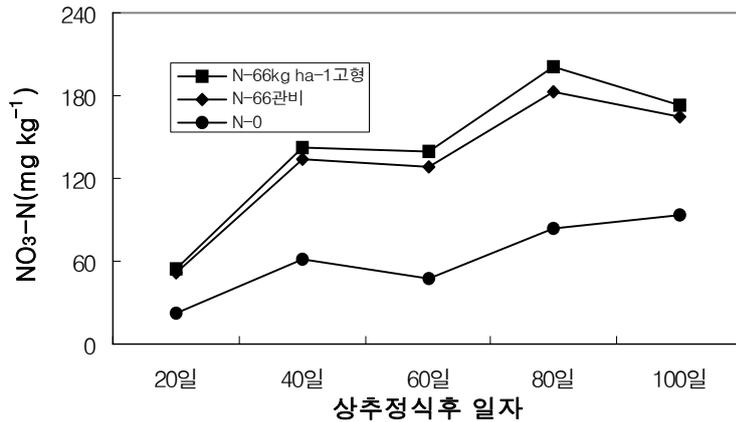


그림 2. 질소 시비 형태별 토양중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량의 경시적 변화(봄재배)

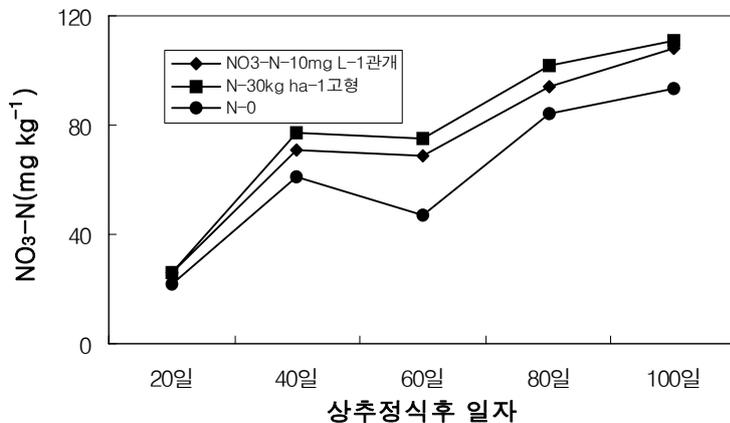


그림 3. $\text{NO}_3\text{-N}$ 10mg L^{-1} 인 지하수 관개시 토양중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량의 경시적 변화(봄재배)

상추 재배시기(봄, 가을)별로 토양중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량을 정식후 60일에서 질소 수준별로 조사한 결과는 표 5와 같다. 봄재배시 질소 부족분 50%, 100% 관비구의 토양중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 토양검정 질소 시비구에 비해 낮은 수준이었다. 그리고 질소 부족분 150% 관비구의 경우도 토양검정 질소 시비구에 비해 시비 질소량이 많았음에도 불구하고 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 축적량은 높지 않았다. 이는 그림 2에서 언급한 바와 비슷한 경향으로 관비에 의해 상추의 흡수가 용이하여 토양에 축적이 적었던 것으로 생각된다. 가을재배의 토양중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 봄재배 보다 적었으며, 질소 수준별 변화는 봄재배와 같은 경향이었다.

표 5. 질소 시비방법별 토양중 NO₃-N(mg kg⁻¹) 함량(정식후 60일)

처리내용	봄	가을
1)토양검정 질소 시비	155	109
2)무처리	47	19
3)NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 관개	69	25
4)질소 부족분 50% 관비 + 3)	103	54
5)질소 부족분 100% 관비 + 3)	128	75
6)질소 부족분 150% 관비 + 3)	153	109
7)NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 해당량 시비	75	25
8)질소 부족분 100% 시비 + 3)	139	88

다. 질소 시비방법별 시험전, 후 토양화학성 변화

시험후 토양화학성은 표 6과 같다. 시험전에 비해 시험후 각 처리구의 pH는 낮아지고 Ex-Ca, Na 함량은 높아지는 경향이였다. 시험후 처리간의 Ex-K 함량은 관비를 함으로써 고행비료 시비구 보다 다소 감소되었는데, 이는 질소를 관비할 때 칼륨도 동시에 관비 함으로서 상추에 의한 흡수가 높아져 토양에 축적이 적어진 것으로 생각된다.

표 6. 질소 시비방법별 시험후 토양화학성

처리내용	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex.Cations(cmol kg ⁻¹)			
				K	Ca	Mg	Na
시험전	6.7	10	230	0.45	7.9	2.1	0.37
1)토양검정 질소 시비	6.2	11	225	0.59	8.4	2.2	0.56
2)무처리	6.4	11	197	0.30	8.2	2.1	0.46
3)NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 관개	6.4	11	229	0.42	8.3	2.2	0.51
4)질소 부족분 50% 관비 + 3)	6.4	10	237	0.44	8.6	2.2	0.52
5)질소 부족분 100% 관비 + 3)	6.5	11	225	0.42	8.6	2.3	0.55
6)질소 부족분 150% 관비 + 3)	6.3	11	233	0.43	8.4	2.2	0.52
7)NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 해당량 시비	6.4	11	227	0.55	8.4	2.2	0.52
8)질소 부족분 100% 시비 + 3)	6.2	11	245	0.58	8.5	2.3	0.59

라. 질소 시비방법별 식물체(상추 엽)의 NO₃-N와 Vt C 함량

상추 재배시기별 엽중의 NO₃-N와 비타민 C 함량을 조사한 결과는 표 7과 같다. NO₃-N 함량은 토양검정 질소 시비구에 비해 봄재배시에는 질소 부족분 100% 이상 관비구에서 축적되고, 가을재배시에는 질소 부족분 100% 관비구에서는 같아으나 150% 관비구에서는 축적되는 경향이였다. 같은 양(질소 부족분 100% 구)의 질소를 시비방법별로 비교해 보면, 토양의 NO₃-N 함량과는 반대로 관비구가 고행비료 시비구에 비해 생체내 NO₃-N의 축적량이 많았다. 이는 관비에 의해 질소질비료의 용해도 상승으로 질소 흡수가 높아진 것으로 생각된다. 비타민 C 함량은 질소 시용구가 무시용구에 비해 다소 증가는 하였으나 질소 시용량 간에는 일정한 경향이 없었다.

표 7. 질소 시비방법별 상추 생체내의 NO₃-N와 Vt C 함량

처리내용	NO ₃ -N(mg kg ⁻¹)		Vt C(mg 100g ⁻¹)
	봄	가을	2004 봄
1)토양검정 질소 시비	270	332	14.7
2)무처리	174	157	14.3
3)NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 관개	203	170	14.8
4)질소 부족분 50% 관비 + 3)	263	254	15.3
5)질소 부족분 100% 관비 + 3)	304	330	15.5
6)질소 부족분 150% 관비 + 3)	341	378	14.4
7)NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 해당량 시비	205	189	15.8
8)질소 부족분 100% 시비 + 3)	270	291	15.0

마. 질소 시비방법별 질소흡수이용율

상추 봄재배시 관비구의 질소흡수이용율은 토양검정 질소 시비구에 비해 높았으나, 관비농도 간에는 다소의 차이가 있어 질소 부족분 50%>150%>100% 관비구 순으로 높았다. 가을재배시의 질소흡수이용율은 봄재배와 같은 경향으로 관비구가 토양검정 질소 시비구에 비해 높았으며, 관비농도는 낮을수록 높아져 질소 부족분 50%>100%>150% 관비구 순으로 높았다. 동일한 질소 시비량 간에는 재배시기에 관계없이 고품비료의 시비보다는 관비를 함으로써 질소흡수이용율이 높았다(표 8).

표 8. 질소 시비방법별 질소흡수이용율(%)

처리내용	봄	가을
1)토양검정 질소 시비	24.4	13.2
2)무처리	-	-
3)NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 관개	-	-
4)질소 부족분 50% 관비 + 3)	45.6	14.9
5)질소 부족분 100% 관비 + 3)	29.5	14.2
6)질소 부족분 150% 관비 + 3)	30.8	11.8
7)NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 해당량 시비	19.2	25.5
8)질소 부족분 100% 시비 + 3)	27.6	10.7

바. 질소 시비방법별 수량

봄, 가을재배시의 상추 수량은 표 9와 같다. 봄재배시의 수량은 토양검정 질소 시비구 42.30Mg ha⁻¹ 대비 질소 부족분 50% 관비구는 2% 감소하고, 질소 부족분 100%, 150% 관비구는 2%, 7% 각각 증가하였으나 통계적으로 유의성은 없었다. 따라서 봄재배시 NO₃-N 10mg L⁻¹인 지하수를 3000Mg ha⁻¹ 관개할 경우, 부족한 질소는 50% 정도만 화학비료로 관비하면 토양검정 질소 시비구의 수량과 대등하리라 생각된다. 가을재배시 수량의 경우도 봄재배와 유사한 경향이였다.

표 9. 질소 시비방법별 상추수량(Mg ha⁻¹)

처리내용	봄	가을
1)토양검정 질소 시비	42.30(100)	21.78(100)
2)무처리	35.46(84)	15.62(72)
3)NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 관개	37.17(88)	17.56(81)
4)질소 부족분 50% 관비 + 3)	41.41(98)	21.13(97)
5)질소 부족분 100% 관비 + 3)	43.09(102)	21.99(101)
6)질소 부족분 150% 관비 + 3)	45.15(107)	23.46(108)
7)NO ₃ -N 10mg L ⁻¹ 해당량 시비	38.09(90)	17.50(80)
8)질소 부족분 100% 시비 + 3)	43.47(103)	20.86(96)
LDS(5%)-----	3.66-----	1.74-----

사. 상추 질소관비 재배시 적정 시비량

상추 재배시기별로 관개수에 함유된 NO₃-N 10mg L⁻¹을 질소비료에 포함하여 시비량과 수량과의 관계를 나타낸 것은 그림 4와 같다. 질소시비량과 수량과는 고도의 부의 상관성이 있었다. 따라서 상추에 대한 질소관비 재배시 토양검정 질소 시비구의 수량과 대등한 수준의 적정 질소 시비량은, 봄재배시는 83kg ha⁻¹ 으로 14% 절감되고, 가을재배시는 114kg ha⁻¹ 으로 23% 절감되어, 약 19%의 질소가 절감되는 효과가 있었다(표 10). 따라서 NO₃-N가 10mg L⁻¹인 지하수를 봄에는 3000Mg ha⁻¹, 가을에는 2000Mg ha⁻¹ 관개할 경우, 질소가 19% 절감되어 부족한 질소는 81%만 화학비료로 사용하면 되므로 다음과 같은 산출식에 의해 질소시비량을 계산할 수 있다.

$$\lceil N_{AE} = (N_{AR} \cdot 0.81) - (I_{NC} \cdot I_{TA}) \cdot 1,000^{-1} \rceil$$

- N_{AE} = 질소시비량 산출식(kg ha⁻¹)
- N_{AR} = 토양검정 질소시비량(kg ha⁻¹)
- I_{NC} = 관개수중의 NO₃-N(mg L⁻¹) 함량
- I_{TA} = 목표 관개량(Mg ha⁻¹)

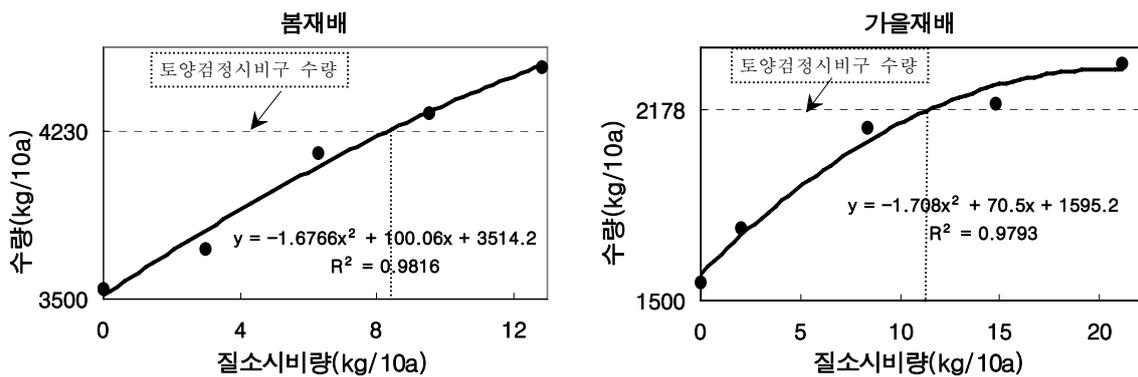


그림 4. 상추 재배시기별 질소시비량과 수량과의 관계

표 10. 상추 질소관비 재배시 재배시기별 적정 시비량

재배시기	상관회귀식	적정 질소시비량	비고
봄	$Y = -1.6766x^2 + 100.06x + 3514.2$ (Y=수량, x=질소시비량)	83kg ha ⁻¹	토양검정 질소 시비량 96kg ha ⁻¹ 대비 14% 절감
가을	$Y = -1.708x^2 + 70.5x + 1595.2$ (Y=수량, x=질소시비량)	114kg ha ⁻¹	토양검정 질소 시비량 148kg ha ⁻¹ 대비 23% 절감

4. 결과요약

시설상추에 대한 질소관비 재배시 관개수에 함유된 NO₃-N 함량을 고려한 적정 시비량을 산출코자, NO₃-N가 10mg L⁻¹인 지하수를 봄재배 3000Mg ha⁻¹, 가을재배 2000Mg ha⁻¹ 각각 관개시 토양검정 질소 시비량을 대비하여 질소 부족분 50, 100, 150% 관비 등 8처리를 두어 사양토에서 포장시험을 수행하였다.

가. NO₃-N가 10mg L⁻¹인 지하수와 이에 해당하는 질소량을 고품비료로 시비하였을 때의 비료적가치는 대등하였다.

나. 토양과 식물체의 NO₃-N 함량은 질소관비 농도가 높을수록 많았다.

다. 동일한 질소량을 시비하였을 때의 NO₃-N 함량은 토양에서는 고품비료 시비구에서, 식물체에서는 관비구에서 높았다.

라. 질소흡수이용율은 봄재배가 가을재배 보다 높았다.

마. 시설상추에 대한 질소관비 재배시 토양검정 질소 시비구의 수량에 해당하는 질소시비량 산출식은 다음과 같다.

$$E_{AN} = (A_{NS} \cdot 0.81) - (N_{IW} \cdot A_{VI}) \cdot 1,000^{-1}$$

· E_{AN} = 질소시비량 산출식(kg ha⁻¹)

· A_{NS} = 토양검정 질소시비량(kg ha⁻¹)

· N_{IW} = 관개수중의 NO₃-N(mg L⁻¹) 함량

· A_{VI} = 목표 관개량(Mg ha⁻¹)

5. 인용문헌

조광래, 박창규, 박찬웅. 2000. 오이재배 유박액 시용효과 시험. 경기도원시험연구보고서. 398 ~ 407.

주선중, 손상목, 김진한. 2001. 하우스 엽채류를 위한 관비재배용 유기액비 개발. 한국유기농업학회지. 83 ~ 99.

김기덕, 박창규, 원선이, 유창재. 1997. 가축뇨의 관비재배 기술연구. 경기도원시험연구보고서. 486 ~ 492.

임재현, 이인복, 박진면. 2001. 절화장미의 생육 및 수량에 미치는 질소와 칼리의 관비농

도. 한토비지. 34(6) : 413 ~ 420.

농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법.

박찬웅, 조광래, 원선이, 박경열. 2001. 시설상추 화학비료 관비재배 효과 시험. 경기도원시험연구보고서. 348 ~ 357.

송관철, 정석재, 손연규. 2003. 시설재배지의 합리적 수분관리. 시설재배토양환경연구제 3 회 워크샵. 35 ~ 47.

엄기철. 2004. 한국농업의 환경과 생태전망. 한·러(자연·인간·환경)환경과학 국제심포지엄. 20 ~ 40.

원선이, 박창규, 조광래, 양장석. 2000. 가축 Slurry 액비를 이용한 시설고추의 관비재배 효과에 관한 연구. 경기농업연구 10. 95 ~ 100.