

博 士 學 位 論 文

灌肥方法에 따른 施設 토마토의
生育 및 無機物 吸收 特性



濟州大學校 大學院

園藝學科

李 相 淳

2005年 12月

灌肥方法에 따른 施設 토마토의 生育 및 無機物 吸收 特性

指導教授 朴 庸 奉

李 相 淳

이 論文을 農學博士學位 論文으로 提出함

2005年 12月



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

李相淳의 農學博士學位 論文을 認准함

審査委員長	(印)
委 員	(印)

濟州大學校 大學院

2005年 12月

Growth and Absorption Characteristics of Mineral
Elements as Affected by Fertigation Method in
Greenhouse Tomatoes

Sang-Soon Lee

(Supervised by Professor Yong-Bong Park)



A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the
degree of Doctor of Agriculture

December, 2005.

Department of Horticulture
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

Summary	1
I. 서론	4
II. 연구사	7
III. 재료 및 방법	12
IV. 결과 및 고찰	17
1. 생육특성	17
2. 수량특성	19
3. 과일의 품질	20
4. 기관별 무기성분 농도	24
5. 식물체당 무기성분 농도	45
6. 잎의 엽록소 함량	48
7. 토양의 이화학적 성질 변화	52
V. 종합고찰	64
VI. 적요	71
VII. 인용문헌	73



Summary

This study aimed at finding ways to minimize the accumulation of salts in greenhouse soil and to improve the efficiency of fertigation in the greenhouse tomato production system. Three different fertigation methods - drip fertigation, spray fertigation and non-fertilized spray irrigation (control) - were used. In addition, growth characteristics, variations in mineral absorption by plants and the chemical properties of the soil during the growing seasons were investigated. The results obtained are summarized as follows.

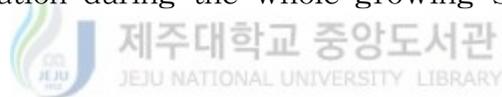


1. The drip fertigation method resulted in good shoot growth such as plant height, leaf length and width, while the spray fertigation method resulted in an overgrowth of shoots during the early growth period, the time when the first fruit cluster set.
2. There were no differences among treatments in terms of the number of fruits on the first cluster. However, drip fertigation resulted in the greatest number of fruits (4.2 fruits) on the fifth cluster.
3. The number of marketable fruits harvested per plant was greatest with drip fertigation (19.5) which gave a total yield of about 29 tons per hectare.

4. There were no differences among the fertigation methods on total soluble solid(TSS) contents during the early growth period. However, TSS and total sugar using drip fertigation showed a tendency to increase during the later growth period.
5. The total nitrogen(T-N) content in dried leaf showed a tendency to increase until fruit set on the 2nd cluster, then decreased, and slightly increased again at the end of the 2nd growth stage. The T-N content in dried leaf was stable during the whole growing season when drip fertigation was employed. However, in the other treatments it was outside the optimum range.
6. Going into the later growth stages, there was a tendency towards increases in concentrations of P, Ca and Mg, but to decreases in concentrations of T-N and K in the dried leaf.
7. The Ca concentration in the dried fruit showed a transient increment during the 1st cluster fruit enlargement period, but decreased from the 2nd cluster fruit enlargement period onwards.
8. Concentrations of T-N and K in the dried root were stable during the whole life cycle, but concentrations of P were slightly lower in the early growth stage, and then increased as the plant matured. Meanwhile, concentration of Ca in the root increased, while that of Mg decreased.
9. In the whole plant, the concentration of K was greatest and that of P was least. Concentrations of T-N and Ca decreased over

time. Concentrations of P and K decreased after fruit set on the 3rd cluster, but concentrations of Mg increased over time.

10. Chlorophyll content in the drip and spray fertigation methods was similar, but was greater than that in the non-fertilized control.
11. Chlorophyll content showed a highly positive correlation with T-N and K content during the early growing stages (1st through 3rd cluster fruit setting periods), and a positive correlation with T-N and P content during the 5th cluster fruit setting period.
12. Mineral elements in the cultivated soil were most stable in drip fertigation, were higher in the spray fertigation, and were lower in spray irrigation during the whole growing season.



I. 서론

남아메리카의 서부 고원지대가 원산지인 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.)는 가지과의 초본성 과채류로서 생과 또는 가공식품의 재료로서 매우 중요한 작물이어서 열대 및 아열대를 포함하여 세계적으로 광범위하게 재배되고 있다. 우리나라의 토마토 재배는 1969년부터 시설재배가 본격적으로 시작되면서 1970년대 초반 4,000ha까지 급증하여 2000년도부터는 시설 양액재배 농가의 증가로 4,746ha에 이르렀다. 품종별로는 미숙계가 20%, 완숙계가 40%, 방울토마토가 40% 정도로 재배되고 있다. 최근 들어 국민소득 향상, 수출물량 증가, 그리고 소비 다양화 등에 힘입어 생산량은 매년 증가추세에 있다. 월별 가격 변동이 적고 건강식품으로 소비자의 인식과 선호도가 높기 때문에 연중재배가 가능하도록 작형이 다양화되고 있다(농림부, 2004).

시설재배는 특히 자연강우를 차단하는 재배방식이므로 대부분 인위적인 관수에 의존하고 있으며, 또한 시설내의 온도가 높기 때문에 토양표면과 작물에 의한 증·발산이 많아지므로 수분요구도가 더욱 커지게 된다(이와 문, 1992). 시설재배에서의 적정관수는 수량과 품질향상에 큰 영향을 미친다. 대체적으로 지금까지는 일시에 다량 관수함으로써 관수회수를 줄이는 방식의 분사식 관수 위주로 관리해왔지만 일부 농가에서는 점적식 관수 방식에 의한 관비농법을 선호하고 있다(박, 1999). 일시 다량 관수법은 토양의 물리성 악화, 즉 표토의 경화에 의해 수분 침투성과

통기성이 불량해지고 하층에는 수분이 많아 산소결핍의 원인이 되며, 관수간격이 길기 때문에 토양수분 변동이 크므로 건조할 경우 토양 양분 농도가 상승하여 뿌리 생육에 지장을 초래하는 원인이 된다.

이와 같은 시설재배 토양의 물리성 저하와 과잉양분을 완화시키기 위한 방안으로 담수제거, 유기물 및 석회 시용, 심경, 윤작, 다비식물을 이용한 양분흡수 등의 다양한 방법이 검토되고 있다. 최근에는 미래형 농법으로 관수와 양분공급을 동시에 실시하는 「관비재배」가 주목받고 있다(박, 1998). 이러한 관비재배는 토양의 기능(양분 공급능, 이온 흡착능, 완충능 등)을 최대한 활용하면서 비료를 소량씩 물에 녹여 장시간에 걸쳐 계속 공급하는 시비방법(서, 2005)이어서 더욱 각광을 받고 있다. 구미 선진국에서는 유묘단계에서는 낮은 수준의 시비를 하고 생육 최성기에는 덧거름으로 부족분량의 비료를 보충하는 방법을 병행하고 있다. 또한 토양내 적정양분 상태의 유지와 작물 자체의 양분상태를 기준으로 생육단계별 적정 시비량과 관수량을 제어할 수 있다면 수경재배에 못지 않은 결과를 기대할 수 있다(六本, 2002).

관비재배는 재배작물의 근권을 제한하며 적기에 적당량의 필요한 양·수분을 공급하게 되면 양수분의 손실이 거의 없으므로 토양의 염류집적이나 연작피해를 최소화할 수 있는 장점이 있다. 이에 비해 수경재배는 과도한 시설투자비가 소요될 뿐만 아니라 재배 3개월을 기점으로 양액을 교체해 주어야 하고, 교체시에는 대체로 토양 침투식으로 폐기되기 때문에 지하수 오염의 한 요인으로 대두되고 있다. 우리나라의 수경재배면적은 2003년도에 617ha에 달했는데(농림부, 2004) 이 면적에서 폐기되는 배액, 즉 양분유출 관계를 보면 오이 재배시 ha당 1.6톤으로 계산할 경

우 전체적으로 987톤에 달한다. 토양재배는 ha당 8톤 정도가 폐기되어 양분유출에 차이가 큰데(박과 이, 2001), 이러한 측면에서 고려하면 수경재배와 일반 토양재배의 절충형인 「관비농법」이 바람직하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 시설재배 연속 토양에서 관비재배의 효율성을 극대화하기 위하여 관비와 관수방법에 따른 시설토마토의 무기양분의 흡수 및 토양의 화학적 특성의 변화를 파악하여 토양오염을 최소화하고 동시에 수경재배의 1/3정도의 시설투자(서, 2005)로 안정적인 토마토 재배를 하기 위한 기초 자료를 얻고자 수행되었다.



II. 연구사

토마토는 시설 내에서 연중재배가 가능하기 때문에 한정된 면적에서의 계속 연작이 되고 있는 실정이다. 또한 시설재배에서 생산자는, 시비량을 줄이면 수량과 품질이 떨어질 것을 우려해서, 노지에 재배할 때 보다 기비와 추비의 형태로 한번에 다량의 시비와 관수를 하고 있는 실정이다. 그 결과 토양내 염류집적은 심화되고(정 등, 1998; 이 등, 1993), 과다 관수에 의한 토양양분의 용탈은 지하수 환경에 악영향을 끼치고 있다(Pang 등, 1997).

이러한 토양내 염류집적은 토양의 삼투포텐셜을 낮춰 뿌리에 의한 양수분의 흡수를 저해하고(황 등, 1993;金森 등, 1978), 토양의 통기성과 투수성 등의 물리성을 악화시켜 작물의 생육장해를 유발하는 원인이 되기도 한다(임 등, 2001). 염류는 주로 질산이온(NO_3^-)과 비료의 부성분인 황산이온(SO_4^{2-}) 및 염소이온(Cl^-)이 반응을 일으켜 생성하는 황산칼슘, 질산칼슘 및 염화칼슘을 총칭하는 말이다. 본래 황산, 질산 및 염소 이온은 산성반응을 나타내기 때문에 이러한 이온들이 많아지면 토양 pH는 저하되고 토양 EC는 높아지므로 염류집적은 직·간접으로 작물의 생육에 악영향을 미치게 된다(하 등, 1997; 정, 1994; 六本, 2002).

따라서 시설재배 토양내 과잉양분을 제거하거나 생육장해를 경감하기 위한 노력은 담수에 의한 제거, 유기물 및 석회시용, 심경, 윤작 등 다양하다(전 등, 1997; 황 등, 1993; 이와 신, 1989; 임 등, 2001). 최근에는 토

양비옥도를 고려한 시비량 조절 방안이 타당하다고 강조되었다(홍 등, 1998). 임 등(2001)은 토양 및 식물체의 질산이온 분석을 통한 비료의 효율적 시비방법을 제시하였다. 또한 토양양액재배 시스템을 이용한 시설 과채류의 연작장해 경감 대책(서, 1999) 등이 강구되고 있다. 외국에서는 작물 생산성 유지와 환경오염 경감을 위한 시비관리 방안으로 토양 중 적정양분을 유지하는 방법과 작물자체의 양분 상태를 기준으로 시비량과 시비시기를 결정하는 방안(Hayashi, 1990; Roppongi, 1998; Roppongi와 Yamazaki, 1998) 등이 검토되고 있다. 국내에서도 시비기술은 적정 생산성 유지, 고품질 농산물 생산, 환경오염 방지라는 3가지를 동시에 만족시킬 수 있는 시비방법을 목표로 적정 시비농도 조절에 의한 작물의 무기원소 흡수 상태를 파악하여 작물의 영양상태를 진단하고 적절한 시비관리를 하려는 연구가 많이 진행되고 있다(최 등, 2001; 정 등, 2001; 정 등, 1992; 이와 이, 1994). 또한 최근에는 재배 기간 중에 간단히 작물체 양분이나 토양양분을 측정하여 추비의 필요성을 판단하여 액비형태로 관주하는 관비재배법이 보급되어 이용되고 있다.

관비재배라는 것은 토양의 갖는 기능을 살리면서 작물의 생육단계에 따라 작물이 필요로 하는 비료와 물을 흡수 가능한 상태(액비)로 공급하는 재배법이다. 「관비재배」라는 용어는 「관수」와 「시비」의 합성어로 우리나라에서는 김(1970)이 처음으로 관비농업을 도입한 이래 과채류 및 과수분야에서 연구와 실용화가 되고 있다(김, 1993; 임 등, 2001). 이러한 관비재배는 관수량이 많아지면 토양층의 용탈과 표면 유실량이 많아져 토양 중의 미세공극에는 수분침투가 이루어지지 않아 수분부족현상이 발생하는데 대체로 점적식 관수보다는 살수관수와 분무관수 방식에서

이러한 현상이 많이 나타난다(이, 2000b). 특히 점적식 관수 방식은 관수 지점 부근에 정확한 양의 수분을 분산하여 공급하고 토양표면과의 접촉을 최소화하여 지면증발을 억제하므로, 공급한 물의 약 90~95%를 작물이 이용할 수 있는 효과가 있다. 시비량과 관수량을 잘 조절하면 염류집적을 회피할 수 있을 뿐만 아니라 작물의 흡수특성에 맞추어 효율적인 시비를 할 수 있다(조 등, 1997; 이, 2000a; 박, 1999). 또한 점적식 관비 방식으로 요소비료를 투입할 때 암모니아 휘산에 의한 질소의 손실을 최소화할 수 있으며 토양잔류 무기태 질소의 분포를 판단하여 식물이 흡수하기 용이한 무기태, 특히 질산태 질소를 지속적으로 공급할 수 있다(류 등, 2001). 또한 작물의 양분은 그 자체의 특성뿐만 아니라 시설내 환경, 재배방식, 재배시기, 시비량 및 성장단계에 따라서도 크게 달라지므로 그 기준값을 설정하는 것이 무엇보다도 중요하다(김, 2003).

식물은 토양에서 뿌리를 통하여 수분과 양분은 물론 물에 녹아있는 산소를 흡수하는데, 뿌리의 이러한 능력은 생리활성에 따라 다르게 나타나며, 또 뿌리 주위의 흙 속에 녹아있는 양분의 농도에 따라서도 달라진다(박과 노, 1996; 노, 2000). 이러한 양분의 농도는 토양내에 있는 수분함량에 따라 달라지고 또 양분이 수분흡수와 동시에 일어나므로 적어도 양분관리는 수분관리와 함께 고려해야 한다(노, 2000).

김 등(2000c)은 한계 토양수분을 설정하여 토마토를 봄철과 가을철에 재배 하였을 때, 봄 재배에서는 토양수분이 많을수록 상품수량이 증가하였으나 가을재배에서는 토양수분이 적고 많음에 따라 상품과율은 일정한 경향을 보이지 않지만 상품수량은 토양수분이 적을수록 증가하였다. 토마토의 생육단계와 계절별로 어떻게 적절하게 양분을 공급하느냐 하는

양분요구도와 정확한 식물의 영양상태를 파악하는 것은 토마토의 생육과 생산성에 관여하는 중요한 요인들이라고 볼 수 있다(김 등, 2003a; Snyder, 1993). 특히 식물체 내 무기양분 함량은 식물의 생육단계, 조직, 양분간의 상호작용, 토양환경에 따라 영향을 받기 때문에 식물체내의 무기물을 분석하여 영양상태를 파악하고 양분공급을 조절해야 한다. 토마토의 영양진단은 주로 토양 분석이나 엽 분석에 의해 이루어져 왔으며 엽내 질소함량은 엽록소 측정장치를 이용하여 분석하는 방법 등도 이용되고 있다(이 등, 1995). 또한 김 등(2003a)은 엽분석이 식물체의 영양상태를 진단하는 지표가 될 수 있는 이유는 잎이 식물대사에 중요한 부분이며, 영양공급의 변화는 엽내 성분 함량에 변화를 주며 특정한 생육기에 있어서의 엽내 양분농도는 수량과 관계가 깊기 때문이다. 장과 정(1997)은 온실멜론의 양액재배에서 영양진단에 기초한 배양액관리를 위한 즙액분석시 질산태질소의 분석에는 자외선흡광도법, 그리고 인산의 분석에는 바나드몰리브덴산법이 신속하고 간편하며 유용한 수단으로 이용된다고 하였다. 실제 방울토마토 시설재배에서 질소 시비수준과 토양의 인산과 칼리 함량을 달리하였을 때 식물체 양분흡수 상태를 보면 경영에서는 질소와 인산이, 그리고 과실에는 칼리가 많이 흡수되었다(황 등, 1997).

시설재배지 토양의 화학성을 보면 유효인산과 치환성 양이온이 과다하게 집적되고 있으며, 특히 연작회수가 늘어날수록 유효인산 함량이 많아지며, 식물체내의 인 함량은 고추, 오이, 피망, 장미, 국화, 카네이션에서 높았고, 특히 칼리는 장미 이외의 작물에서 흡수가 많았다(하 등, 1997). 또한 토마토의 시설재배시 하우스 내에 강우가 차단되기 때문에 노지에

비해 온도가 높아 증·발산량이 많아지고, 기온이 지온보다 높게 유지되어 지상부 생육에 비해 뿌리의 발달이 빈약하여 작물체내 수분균형을 유지하기가 어렵다(이와 문, 1998). 시설재배 토양에 합리적인 관수를 하려면 먼저 그 작물의 특성과 재배토양의 물리적 성질 및 수분상태를 정확히 파악하여야 한다(황 등, 1997). 토양수분 함량은 토성과 관수량에 따라 달라진다. 토성의 경우 식토에서 가장 높고 다음은 식양토, 양토, 사양토, 사토 순으로 낮아진다(엄 등, 1995; 김 등, 2000c). 토양수분을 저하시키면 토마토의 광합성률이 저하되고, 건물중이 감소하며(Hayata 등, 1998) 당도는 높은 반면 과실이 작아 수량이 감소되며 토마토 배꼽썩이 현상이 많이 발생된다(Ban 등, 1994; Pulupol 등, 1996). 사양토에서 토양수분조건을 달리하였을 때 작물 생육시기별 토양 중 염소이온과 무기태질소의 이동은 토양수분이 많을수록 하향 이동이 빠르게 진행되며 무기태 질소의 식물체 흡수량도 많아진다(류 등, 1991; 류 등, 1994).

토마토 시설재배에 있어서 종래의 관수와 시비방법은 노즐이나 튜브를 이용한 경험적 판단에 의해 한번에 다량으로 관수하되 관수간격을 조절해왔으며, 생산자의 경험과 감으로 시비량과 시비시기를 결정해 왔기 때문에 적정시비가 좀처럼 이루어지지 않았다. 그래서 효율적이고 적정한 시비를 위해서는 종합적인 영양진단 결과를 토대로 추비의 양과 시기를 결정하여야 한다(이, 2000a; 이, 2000b; 박, 1998). 즉, 생산현장에서 손쉬운 방법으로 행하는 실시간 토양진단과 식물체 영양진단의 결과를 작물 생산성과 품질의 향상에 적극적으로 활용할 수 있는 「관비재배」가 21세기의 환경친화형 생산시스템으로서 널리 활용될 것으로 기대된다.

Ⅲ. 재료 및 방법

‘Momotaro York’ 토마토(*Lycopersicum esculentum* Mill.) 종자(Takii Seed Co., Japan)를 2003년 2월 5일 과채류용 바로커상토(서울종묘)가 담긴 32공 플러그 트레이에 파종하여 본엽이 2매 출현시에 비닐포트(15cm×15cm, 바로커상토 채움)에 이식하였다. 육묘 기간에 공급한 액비는 원예연구소 토마토용 양액 N-P-K-Ca-Mg = 10-3-3-6-2.0 me · L⁻¹로서 육묘 초반기에는 EC를 1.0mS · cm⁻¹로, 그리고 중반이후에는 1.5mS · cm⁻¹로 조절하여 하루 1~2회 육묘용 관수장비를 이용하여 두상관수하였으며 액비를 공급하지 않은 날은 일반 관수하였다.

시험에 이용된 포장은 하우스를 신축하여 1년간 토마토를 재배했던 포장이었으며 시험 전 하우스 토양의 이화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같이 유효인산 함량이 기준치 이하이고 치환성 양이온 함량이 기준치보다 높은 특성을 보였다.

Table 1. Chemical properties of the soil used for tomato cultivation.

	pH (1:5)	EC (mS · cm ⁻¹)	O.M. (%)	Available P ₂ O ₅ (mg · L ⁻¹)	T-N (%)	Exchangeable cations (mg · kg ⁻¹)		
						K	Ca	Mg
Standard	6.0~6.5	~2.0	2.0~3.0	400~500	< 2.5	0.7~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0
Before crop cultivation	6.1	0.60	2.8	319	1.6	1.1	12.1	4.3

1화방 꽃이 개화되기 시작하는 2003년 3월 18일에 이랑넓이 120cm, 줄 간격 50cm, 식물체 간격 40cm의 2줄로 정식하였고, 반복당 10주씩을 조사하였다. 정식 후 관수는 점적호수(Dripline, Netafim, Israel)를 설치하고 플로리콤(Netafim, Israel) 수분 센서를 자동관수분배기(두레박 #HR-1, 하나레바호, 한국)에 연결하여 토양내 수분함량에 따라 공급하는 점적식 관비(drip fertigation), 양수 펌프에 시판용 분사호수(0.02~0.1m/m, 신농, 한국)를 연결하여 인위적으로 토양의 상태를 파악하고 수분과 양분을 적절히 공급하는 분사식 관비(spray fertigation), 그리고 대조구로서 비료를 제외하고 물만 분사식으로 관수하는 분사식 관수(spray irrigation)구를 둔 실험을 수행하였다. 비료 사용량은 점적식 관비 및 분사식 관비 처리는 원예연구소의 토마토 관비기준(N-P-K=20-17-11 kg/10a) 처방액을 사용하였다. 인산은 전량 기비로 사용하였고, 질소와 칼리는 생육단계에 따라 분할하여 공급하였다. 점적식 관비는 매일 3~5회 관비하였고(1회 관수량 0.2L/plant, 주당 0.6~1L/day), 분사식 관비는 3일마다 1회(1회 주당 관수량 2~3L) 공급하였다. 분사식 관수는 비료를 첨가하지 않은 물만 3일마다 1회(1회 주당 관수량 2~3L) 공급하였으나, 생육기간 동안 식물체의 생육보존을 위해 분사식 관비용액을 3화방, 5화방, 7화방 과일 발육기 각각 1회, 주당 관수량 2~3L를 공급하였다. 공급한 관비량 및 원수에 대한 분석결과는 Table 2와 3에서 나타내었다. 관수 후 토양의 물 퍼짐 상태는 점적식 관비인 경우 식물체를 중심으로 반경 20~30cm 내외로 연직방향으로 이동하였으나, 분사식 관비는 호스를 설치한 토양(넓이 10cm내외) 주변으로 연직 방향으로 유실되어 이랑과 이랑 사이에 물이 고이는 현상을 보여 식물체가 이용하지 못하고 유실되는 것을 확인하였다.

Table 2. Amounts of nitrogen and potassium applied by fertigation at different growth stages of tomato crop.

Element	Amount applied (kg/10a)				
	Total	Days after transplanting			
		0~30	31~60	61~90	91~120
N	20	1.52 (8) ^z	3.69 (18)	8.58 (43)	6.21 (31)
K	11	1.10 (10)	2.55 (23)	4.29 (40)	3.06 (27)

^z Figures in parentheses indicate percentages.

Table 3. Mineral composition of the water used in this experiment.

pH	EC (mS · cm ⁻¹)	NO ₃ (meq · L ⁻¹)	P (meq · L ⁻¹)	K (meq · L ⁻¹)	Ca (meq · L ⁻¹)	Mg (meq · L ⁻¹)
7.0	0.12	9.0	0.3	1.5	4.4	4.3



정식 전에 식물체를 부위별로 나누어 분석시료를 채취하였고, 그 이후에는 1화방 착과시와 2화방, 3화방, 4화방, 5화방 및 10화방 과실 비대기, 즉 각 화방별로, 과일 크기가 직경 3~5cm 정도에 달했을 때 채취하였다 (Fig. 1). 각 채취 화방의 바로 위의 잎을 잎몸과 잎자루로 나누어 채취하였고, 줄기와 뿌리는 각 처리당 2주에서 채취하다.

채취한 식물체는 70℃에서 48시간 건조하여 분쇄한 후 습식분해(황산-과산화수소) 시켰다. 식물체 중 총 질소는 켈달증류법으로 분석하였고, P, K, Ca, Mg은 분해액을 100배로 희석하여 여과한 후 ICP(JY-70C, Jobin, France)로 측정하였다.

토양시료는 식물체를 채취한 부분의 반경 30cm내외, 깊이 10cm내외의 토양을 2점씩 채취하여 혼합하고, 음건한 후 pH와 EC는 1:5 희석법으로

pH/EC기(460-CP, Istek, 한국)를 이용하여 측정하였다. 유효인산은 Vanado molybdate법(농촌진흥청, 2000)으로 추출하여 spectrophotometer (Carry 50, Varian Livity Series 11, Australia) 720nm로 측정하였다. 기타 무기성분은 산 분해 후 ICP(JY-70C, Jobin, France)로 측정하였다. 엽록소 함량은 시료 채취 화방의 바로 위의 잎을 채취하기 전에 엽록소 측정기(SPAD 501, Minolta, Japan)로 측정하였다. 엽록소 측정기는 투과된 빛의 적외선 지역과 적색광 지역으로 분리하며, 기계의 창에는 투과된 빛의 두 지역 측정값을 0에서 80 사이의 범위로 $\text{mg}/100\text{cm}^2$ 단위로 표시하였다.

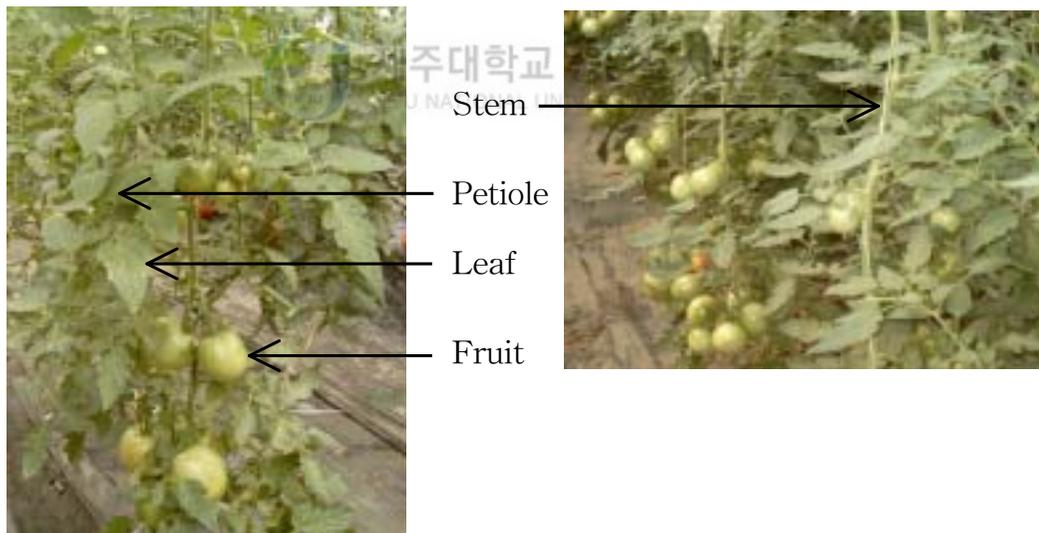


Fig. 1. Position of tomato crop parts sampled.

화방당 과일이 50% 정도 착색이 진행되었을 때 과실을 채취하여 고형물 함량은 굴절당도계(PR-100, Atago, Japan)로 조사하였다. 일부 시료는

유리당 분석을 위하여 -70°C 에서 보관하였다가 해동하여 과육을 착즙한 후 원심분리($1,000\times g$)한 상등액을 5배로 희석하여 $0.2\mu\text{m}$ membrane filter로 여과한 후 $20\mu\text{L}$ 씩 high performance liquid chromatography(HPLC, Waters 510, USA)에 주입하여 정량분석 하였다. 각 화방별 분석시료 채취 시점에서 초장, 경경, 엽장, 엽폭, 착과수, 엽록소 함량 등을 조사하였으며, 과일당 착색이 2/3 정도 진행되었을 때 전체 수량과 상품 수량을 조사하였다.



IV. 결과 및 고찰

1. 생육특성

토마토의 생육은 관비방식에 따라 차이가 있었다. Table 4는 생육단계 별로 지상부 생육 상황을 비교한 것이다. 정식 후 35일째인 제1화방 비대기에는 분사식 관비 처리가 분사식 관수나 점적식 관비 처리에 비하여 초장이 길었고, 줄기가 굵은 특성을 나타내어 초기에 지상부가 과번무하는 경향을 보였다. 정식 후 60일째인 제3화방 비대기의 초장은 점적식 관비에서 크게 증가하였고, 줄기는 분사식 관비에서 굵은 경향이였다. 엽장과 엽폭은 점적식 관비와 분사식 관비에서 분사식 관수처리보다 크게 증가하였다. 제5화방 과실 비대기인 75일째 각 처리별 생육상황을 보면, 점적식 관비에서 다른 처리에 비해 초장, 엽장, 엽폭 등이 양호한 생육을 보였다. 화방당 착과수는 초기 1화방에서 처리간 차이를 보이지 않았으나 3화방에서는 분사식 관수처리에서 적었고 5화방에서는 점적식 관비 처리에서 다른 처리에 비해 많았으며 그 결과는 생산량의 증가로 나타났다. 또한 지상부 생체중은 생육초기 및 중기에는 분사식 관비가 다른 처리에 비해 생육이 왕성하여 무거웠으나 75일째인 5화방 과실 비대기에는 분사식 관수처리에 비해 점적식 관비나 분사식 관비에서 무거웠다. 점적식 관비와 분사식 관비에서는 통계적 유의차는 없었으나 점적식 관비에서 초장이 길고 생육상황이 양호하여 생체중도 많은 경향이였다. 이러한 결과는 조 등(1997)이 시설내 토마토 재배에서 관수방법에 따라 토양중

의 용탈과 이랑사이로 유실량이 많아져 수분부족현상이 조장된 결과라고 지적한 사실과 일치하며, 역시 토마토 재배에서 점적식 관수 재배시 엽면적과 지상부 건물중 등의 생육이 촉진되어 수량도 12% 가량 증수된다고 한 보고(노, 2002)와 같은 경향을 보였다. 또한 관비재배에서는 토양 수분이 거의 일정하게 유지할 수 있기 때문에 뿌리가 받는 스트레스를 줄일 수 있으나 관수량이 너무 많거나 적으면 수량이 감소하며, 영아자의 관비재배시 관행재배에 비해 지상부 생육이 왕성해지고 초장과 잎이 커지며 줄기수가 많아진다는 김 등(2000b)의 보고는 본 연구의 결과를 뒷받침 해주고 있다.

Table 4. The effect of fertigation method on tomato growth in the greenhouse.

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf		No. of fruits per cluster	Fresh weight (g/plant)
			Length (cm)	Width (cm)		
35 days after transplanting (1st cluster fruiting)						
Drip fertigation	87.5 b ^z	11.6 a	37.1 a	38.8 a	4.5 a	213.1 b
Spray fertigation	90.5 a	13.6 a	35.7 a	37.9 a	4.3 a	324.3 a
Spray irrigation	73.0 c	9.9 b	30.1 b	29.5 b	4.5 a	153.1 c
60 days after transplanting (3rd cluster fruiting)						
Drip fertigation	159.7 a ^z	14.3 a	41.3 a	46.5 a	4.6 a	417.9 b
Spray fertigation	141.0 ab	15.4 a	37.5 ab	42.2 a	4.1 a	569.6 a
Spray irrigation	122.2 b	8.3 b	31.9 b	29.3 b	3.4 b	303.0 c
75 days after transplanting (5th cluster fruiting)						
Drip fertigation	175.8 a	14.9 a	43.3 a	47.6 a	4.2 a	650.1 a
Spray fertigation	144.6 b	15.3 a	38.2 b	42.1 a	3.8 b	618.6 a
Spray irrigation	126.6 c	8.1 b	32.0 c	28.9 b	3.7 b	446.7 b

^zMean separation within column on the same date by Duncan's multiple range test at 5% level.

2. 수량특성

Table 5는 관비재배 토마토의 수량특성을 나타낸 것이다. 주당 상품과수는 점적식 관비처리에서 19.5개로 가장 많았으며, 다음으로 분사식 관비처리 17.8개, 분사식 관수처리 14.6개의 순이었다. 주당 평균 상품과중도 상품과수와 마찬가지로 점적식 관비처리에서 무겁게 나타났다. 또한 비상품과를 포함한 과실 평균무게는 점적식 관비처리에서 148g으로 가장 무거웠으며, 분사식 관비(140g)와 분사식 관수처리(138g)에서는 비슷하였다. 관비재배에서는 토양수분을 거의 일정하게 유지할 수 있기 때문에 뿌리에 주는 스트레스를 줄일 수 있고(박, 1998), 소량의 물을 뿌리 부분에만 관수하여 근권 토양은 항상 적당한 수분을 유지시켜 뿌리 분포를 촉진시킨다(김 등, 2004).



고추 재배시 표면점적식 관비보다 지하점적식 관비에서 수량이 15~20% 증수가 되고(노, 2002), 방울토마토 관배재배시 자동관수와 시비처리가 인력관수와 시비처리보다 수량이 34% 증수되었다는 보고(조 등, 1997)는 본 시험의 점적식 관수 처리가 다른 처리에 비해 수량이 높은 것과 유사한 결과이다.

Table 5. Yield characteristics of the tomato crop as affected by fertigation method in greenhouse cultivation.

Treatment	No. of marketable fruits per plant	Wt. of marketable fruits per plant (g)	Mean fruit weight (g)
Drip fertigation	19.5 a ^z	2,854 a	148 a
Spray fertigation	17.8 b	2,614 b	140 b
Spray irrigation	14.6 c	2,206 c	138 b

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

3. 과일의 품질

Table 6은 토마토 과실의 가용성 고형물 함량을 나타낸 것이다. 생육 단계에 따른 가용성 고형물 함량은 큰 차이를 보이지 않았으나 후기로 갈수록 감소하는 경향이였다. 관비방법에 따른 고형물 함량은 점적식과 분사식으로 관비한 것은 4화방까지는 처리간 차이가 없었으나 그 후에는 점적식 관비 처리한 것이 높게 나타났다. 분사식 관수로 처리한 것은 점적식 관비나 분사식 관비로 처리한 것보다 고형물 함량이 낮게 나타났다. 점적식 관비로 처리한 것에서는 후기로 갈수록 고형물 함량이 다른 처리에 비해 높게 나타났으며, 분사식 관수처리에서는 관비 처리한 것보다 고형물 함량이 낮게 나타났다. 김 등(2001)은 고당도의 토마토를 생산하기 위해서 적정 관수조절을 할 경우 일반재배보다 당도가 1.9°Brix 상승하였다고 하여 본 시험의 결과와 일치하였다.

Table 6. Soluble solids of tomato fruit on different clusters as affected by fertigation method in greenhouse cultivation.

Treatment	Soluble solids (°Brix)					
	1st cluster	2nd cluster	3rd cluster	4th cluster	5th cluster	10th cluster
Drip fertigation	5.93 a ^z	5.88 a	6.85 a	6.35 a	6.49 a	6.56 a
Spray fertigation	5.78 a	5.79 a	6.52 a	6.22 a	6.23 b	6.24 b
Spray irrigation	5.69 a	5.34 b	5.72 b	5.85 b	5.95 c	6.18 b

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at 5% level.

Fig. 2는 관수방법에 따른 토마토 내의 유리당 함량을 나타낸 것이다. 자당(sucrose) 함량은 초기 3화방까지는 처리간 차이를 보이지 않았으나 5화방 이후에는 분사식 관수처리에서 다른 처리에 비해 떨어지는 경향이었으며, 생육 말기인 10화방에서는 점적식 관비에서 가장 높은 수치를 보였으며 분사식 관비처리, 분사식 관수처리 순으로 낮게 나타났다. 대체적으로 자당함량은 점적식 관비처리에서는 후기로 갈수록 증가하는 반면 분사식 관비처리나 관수처리에서는 생육중기까지 증가하다가 후기에 떨어지는 경향을 보였다.

과당(fructose) 함량은 1화방부터 5화방까지는 점진적으로 증가하는 경향이었으나 그 후 생육 후반기에는 약간의 감소를 나타내었다. 처리별로 보면 점적식 관비처리에서 분사식 관비나 분사식 관수처리에서보다 많았으며, 분사식 관수처리에서는 가장 낮았다.

포도당(glucose) 함량도 과당의 함량과 마찬가지로 5화방까지 점진적

인 증가를 보이다가 생육 후반기에는 감소하는 경향을 보였고, 분사식 관수처리에서는 계속적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 처리별 포도당 함량은 각 화방에서 점적식 관비처리에서 높은 수치를 보였고, 분사식 관수처리에서는 가장 낮은 수치를 보였다. 이러한 결과는 조 등(1997)의 토마토 관비재배시 자동관수와 자동시비구에서 당도가 높고 산 함량이 낮아진다는 보고와 일치한다.



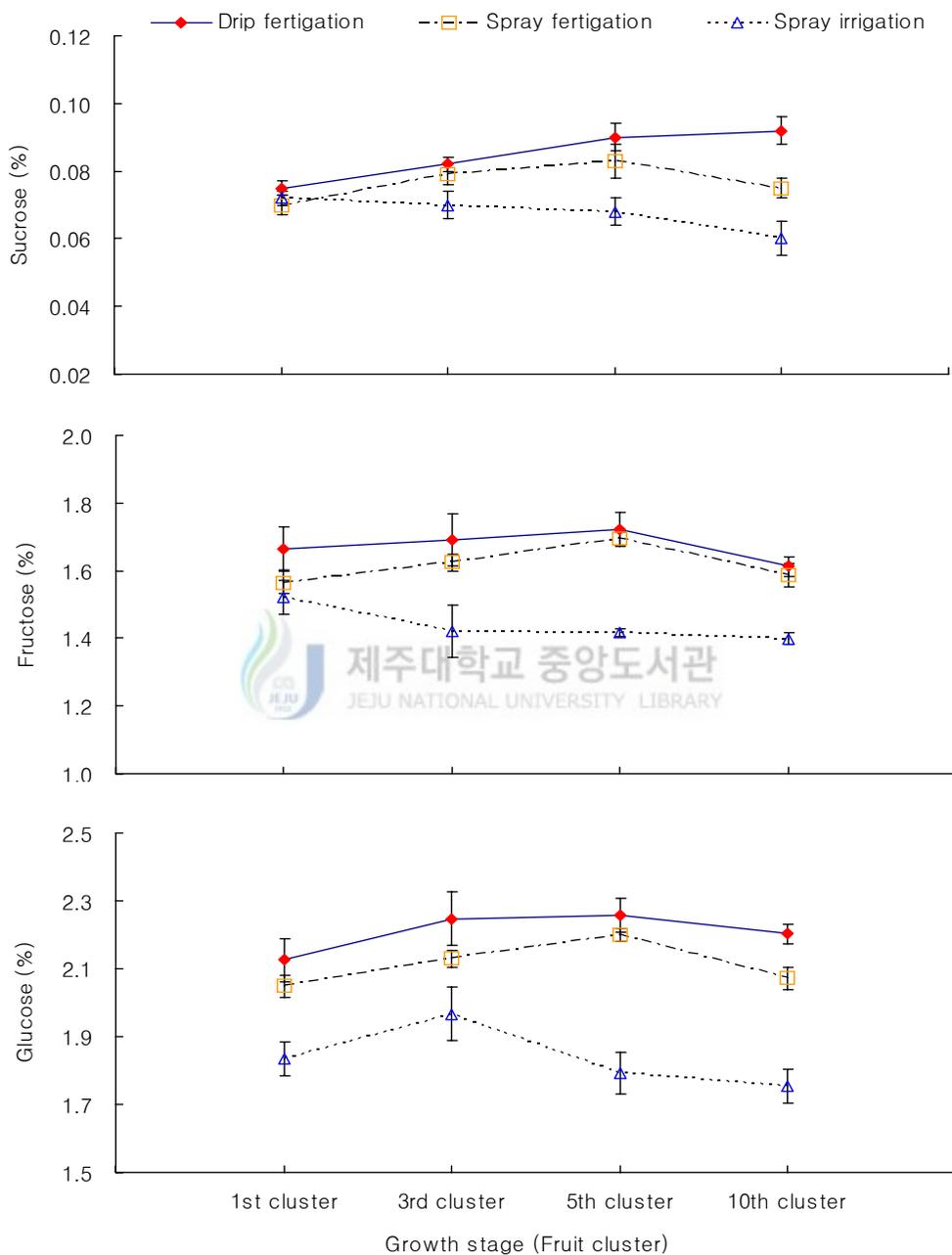


Fig 2. Changes in the free sugar content of fruit set on different clusters as affected by fertigation method.

4. 기관별 무기성분 농도

관비재배 토마토의 생육단계에 따른 기관별 건물체내 무기성분 농도는 Fig. 3~27에 나타나 있다. 우선 Fig. 3에서 토마토의 생육단계별 잎의 건물체내 질소(T-N) 농도는 점적식 관비와 분사식 관비처리에서 생육초기인 정식 후 1~2화방 과실 비대기에 약간 증가하는 경향을 보였으며, 그 이후에는 서서히 감소하였다가 3화방 이후부터 안정되었다. 분사식 관수처리에서도 점적식 관비나 분사식 관비처리에서와 마찬가지로 2화방 과실 비대기 이후 농도가 점차 낮아지는 경향이 관측되어 식물체 회복을 위해서 2화방 비대기 이후 약간의 추비를 하였는데 점차 회복하는 경향을 보였다. 토마토의 생육기간 동안 잎 건물체의 T-N 농도는 유효기에서 영양생장기를 걸쳐 1~2단 열매 비대기까지 농도가 증가하다가 그 이후 서서히 감소한다는 김(2003)의 보고와 토마토의 잎내 질소함량이 적정범위인 3.0~3.8%일 때 생리적 활성과 생육 및 상품수량이 많았다는 이등(1995)의 보고와 유사한 결과를 나타냈다.

인산(P)의 농도(Fig. 4)는 유효기보다 정식 후 1화방 비대기에 감소하였으나 이후 증가하여 4화방 비대기까지 증가경향을 보이다가 이후 감소하였으며 점적식 관비처리에서는 그 정도가 완만한 경향을 보인 반면 분사식 관비에서는 더 크게 증가하였다. 이러한 결과는 토마토 암면재배시 유효기에서 수확초기까지 P의 농도가 증가하였다는 김(2003)의 보고와는 약간의 차이를 보였다.

칼륨(K)의 농도(Fig. 5)는 전반적으로 3화방 비대기까지 증가하다가 이후에 점차 감소하는 경향을 보였다. 처리별로는 분사식 관비처리에서

3화방 비대기까지 약간의 증감이 있었으나, 그 후 점차 감소하는 경향이 뚜렷하였고, 점적식 관비처리에서는 2화방 비대기 이후 완만한 증가 경향을 보였다가 후반기에 약간 감소하는 경향을 보였고, 분사식 관수처리에서는 분사나 점적식 관비처리에서보다 다소 낮은 수치를 보였으나 타 처리와 유사한 경향을 보였다.

Fig. 6은 잎 건물체내 Ca 농도를 나타낸 것이다. 칼슘(Ca)은 전반적으로 정식 후 흡수가 점진적으로 증가 경향을 보이다가 생육후기에 약간 떨어졌으나 생육초기보다는 높은 경향을 보였다. 처리별로 보면 분사식 관비는 유효기 이후 1~2화방에서 급속한 증가를 보이다가 그 후 감소하는 경향을 보였고, 점적식 관비처리에서는 일반적으로 안정적인 농도를 유지하였다. 분사식 관수처리에서도 점적식 관비처리와 마찬가지로 안정적인 농도를 보이다가 후반에 약간 감소하는 경향을 보였다.

마그네슘(Mg)은 점적식 관비처리에서는 안정적인 농도를 보인 반면, 분사식 관비처리에서는 4화방 비대기 이후 증가하기 시작하여 지속적인 증가경향을 보였는데(Fig. 7) 이는 Mg 흡수가 많아짐으로 인해 상대적인 K, Ca 흡수가 저해된 원인이 될 것으로 생각되었다. 분사식 관수처리에서는 전반적으로 안정적인 농도를 보였다. 이 등(2001a)은 석탄회 성형 배지에서 생육한 토마토 잎 건물체 내의 N, P, K의 농도는 생육후기로 갈수록 같거나 다소 낮아지고, Ca와 Mg은 생육 후기로 갈수록 높아지는 경향을 보였다고 보고하여 본 실험과 유사한 결과를 나타내었다. 그러나 김(2003)은 유효기에서 수확초기까지 농도가 증가하다가 수확중기에 감소하여 수확후기에 다시 증가하였다는 보고와는 약간의 차이를 보였다.

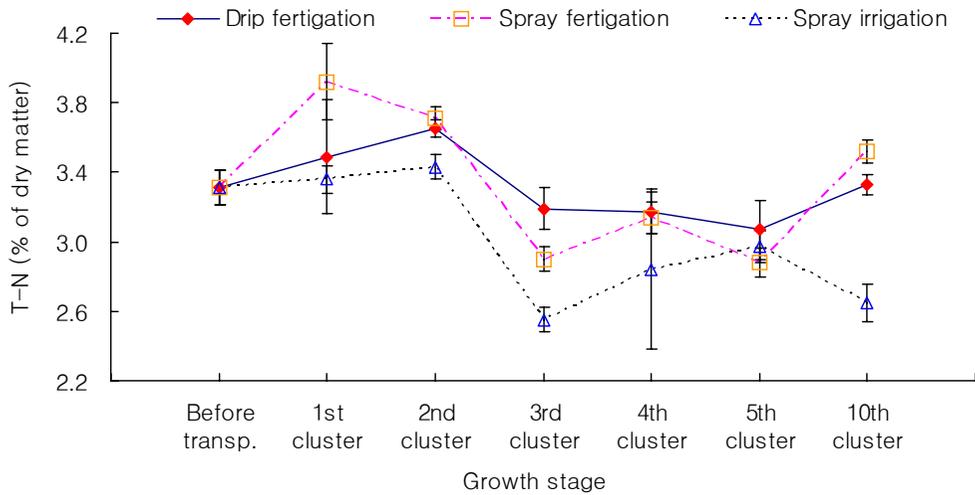


Fig. 3. Changes in total nitrogen in leaf at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

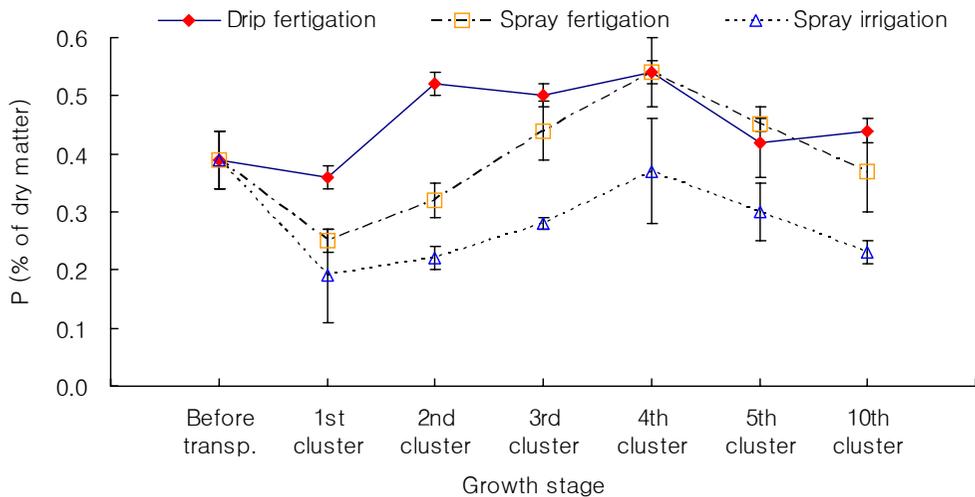


Fig. 4. Changes in phosphate in leaf at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

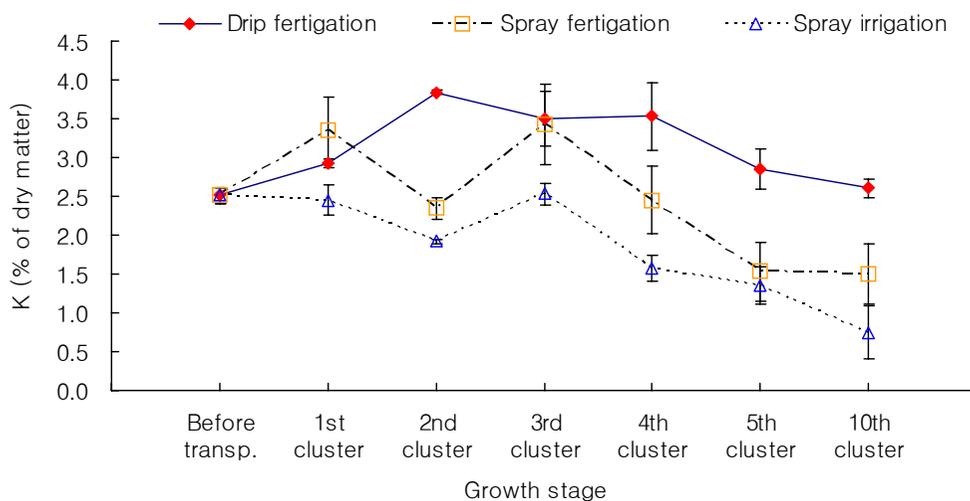


Fig. 5. Changes in potassium in leaf at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

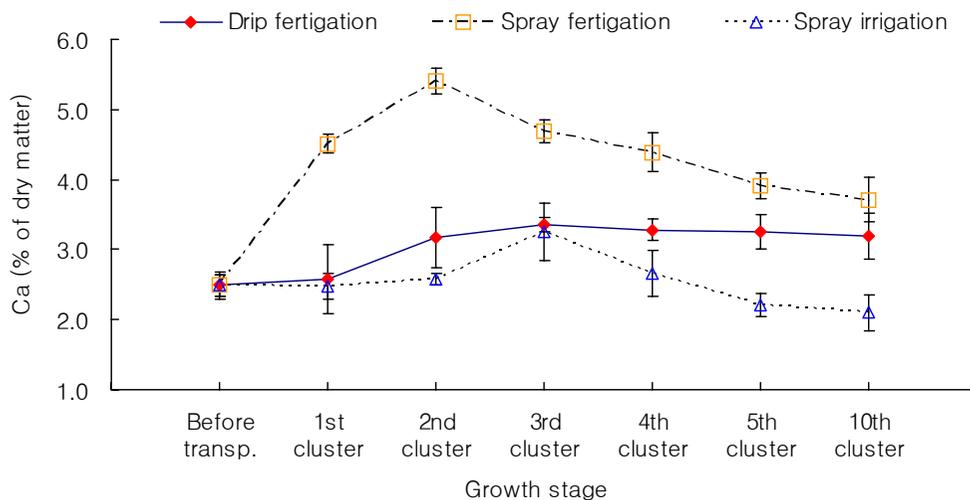


Fig. 6. Changes in calcium in leaf at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

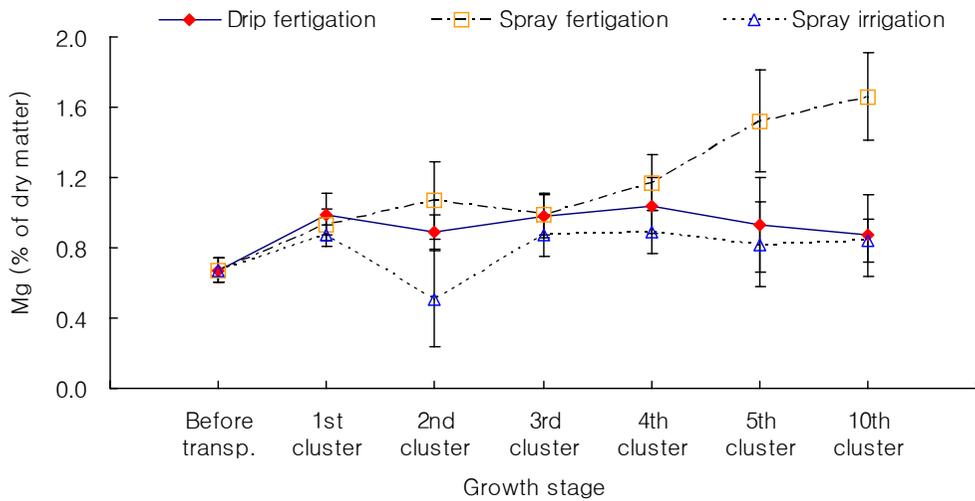


Fig. 7. Changes in magnesium in leaf at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

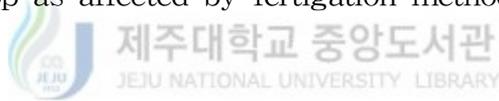


Fig. 8~12은 생육단계에 따른 잎자루 건물체내 무기성분 농도를 나타낸 것이다. T-N(Fig. 8)은 유묘기에서 1화방 비대기까지 농도가 증가하였으나 이후 점차 감소하는 경향을 보였는데 이는 김(2003)이 잎몸과 잎자루 즙액의 NO₃ 및 T-N은 1~2단 열매 비대기까지 농도가 증가하다가 이후 감소하였다는 보고와 유사하였다. 분사식 관수처리에서는 생육기 동안 증가와 감소폭이 적고 안정된 농도를 보였다.

P의 농도(Fig. 9)는 전반적으로 3~4화방까지 안정적이다가 이후 감소하는 경향을 보였다. 분사식 관비처리에서는 3화방 이후 감소하였고, 분사식 관수처리에서는 1화방 비대기 이후 지속적인 감소를 보였다. 점적식 관비는 생육 후기까지 안정적인 농도를 보였다.

K(Fig. 10)는 전반적으로 생육중기인 3화방 이후 감소하는 경향을 보였으며 점적식 관비처리에서는 K 농도가 생육후기까지 적정수준을 유지하였으나 분사식 관비처리에서는 2~3화방에서 그 농도가 높게 유지되었으며, 분사식 관수처리에서는 점적식 관비처리보다는 수치가 낮았으나 안정적인 경향을 나타내었다. 김 등(2003a)은 토마토의 생육과 품질을 향상시키기 위해서는 경엽 중의 질소 농도 1.8~2.5%, 인산 0.18~0.60%, 칼리 3.5~6.0% 범위를 유지해야 한다는 재배법을 제안한 바, 본 시험에서도 점적식 관비처리에서 화방별로 일시적인 증가와 감소가 있었으나 전반적으로 유사한 결과를 보였다.

Fig. 11과 12는 잎자루의 Ca과 Mg 농도를 나타낸 것이다. Ca 농도는 초기 영양생장기에서 1화방 비대기까지 급격한 흡수를 보이다가 이후 일정하게 유지되었는데 이는 영양생장기에서 생식생장으로 전환되면서 Ca 흡수가 많아진 것으로 보아 이때에 Ca 비료의 사용이 이루어져야 할 것으로 생각되었다.

Mg 농도는 정식후 점차 증가하기 시작하여 생육후기로 갈수록 증가하는 경향을 보였으나 생육후기에 약간 감소하는 경향을 보였다. 점적식 관비에서는 완만한 증가를 보인 반면 분사식 관비에서는 유효기에서 1화방비대기에 급격한 증가를 보였으나 이후 완만한 증가를 보였고, 분사식 관수처리에서는 점적식 관비와 유사한 흡수경향을 보였다. 수경재배 토마토의 잎몸과 잎자루 건물체 내의 Ca와 Mg 농도는 유효기에서 수확초기까지 증가하다가 수확중기에 약간 감소하며 수확 후기에 다시 증가하였다는 보고(김, 2003)와 수경재배 토마토의 잎몸과 잎자루의 무기원소 중에 가장 많은 것은 잎몸에서 N과 Ca이었으며, 잎자루에서는 P, K 및 Mg이었다는 김(2001)의 보고는 약간의 차이를 보이고 있으나 이는 토양재배와 수경재

배에서의 생육과정 즉, 수경재배에서의 5화방은 생육중기에 해당되므로 본 연구의 결과와 일치되는 것으로 생각되었다.

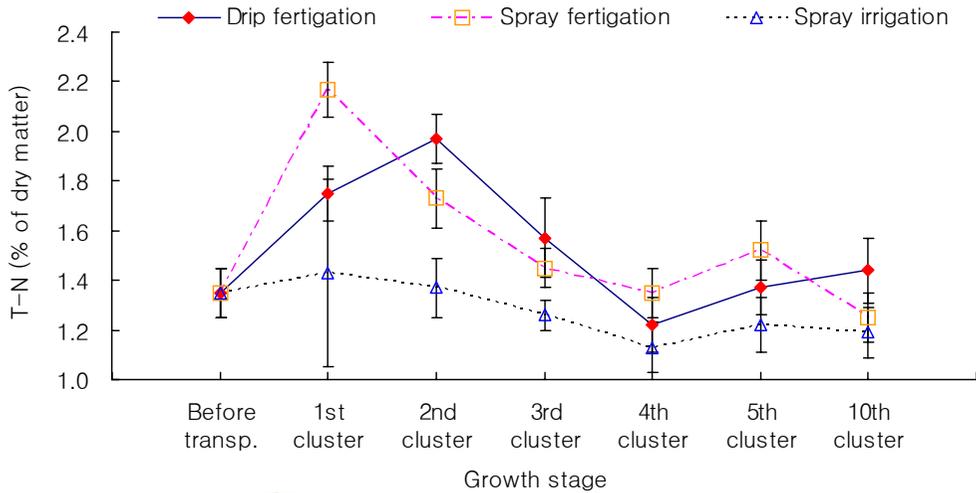


Fig. 8. Changes in total nitrogen in petioles at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

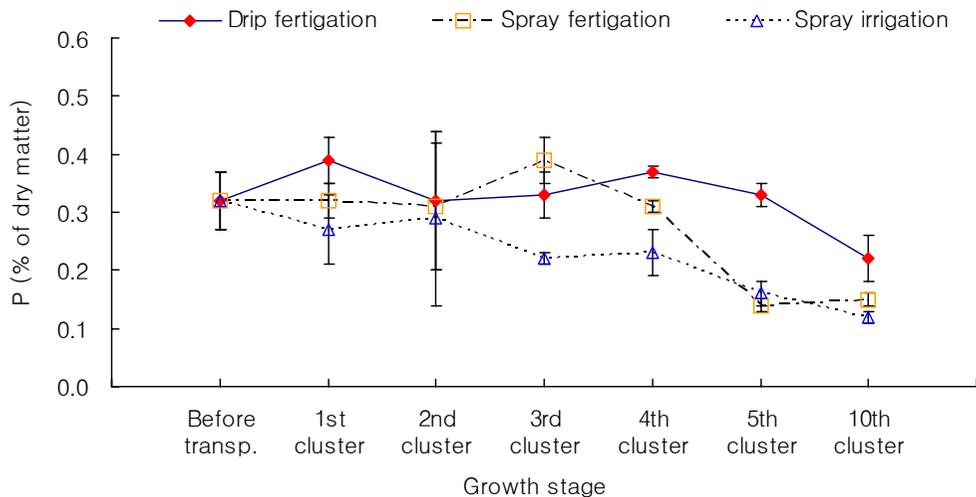


Fig. 9. Changes in phosphate in petioles at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

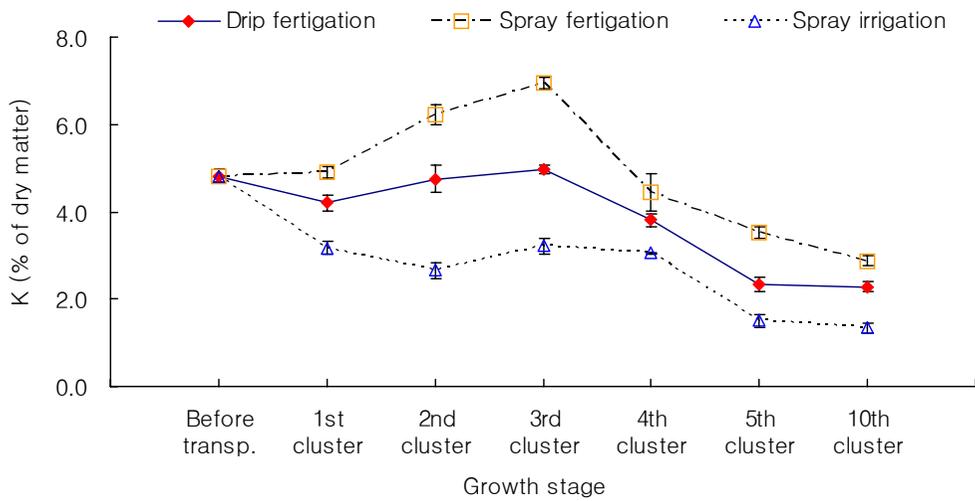


Fig. 10. Changes in potassium in petioles at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

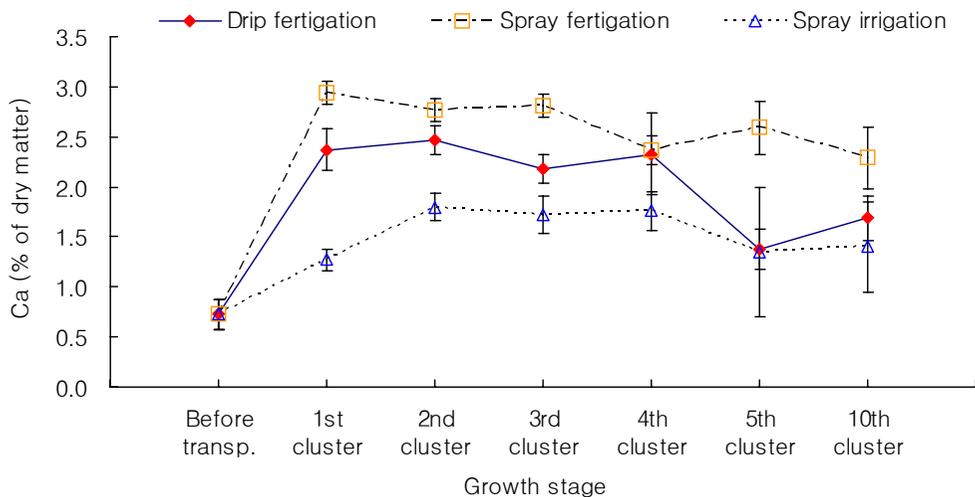
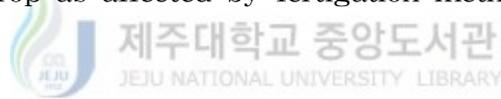


Fig. 11. Changes in calcium in petioles at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

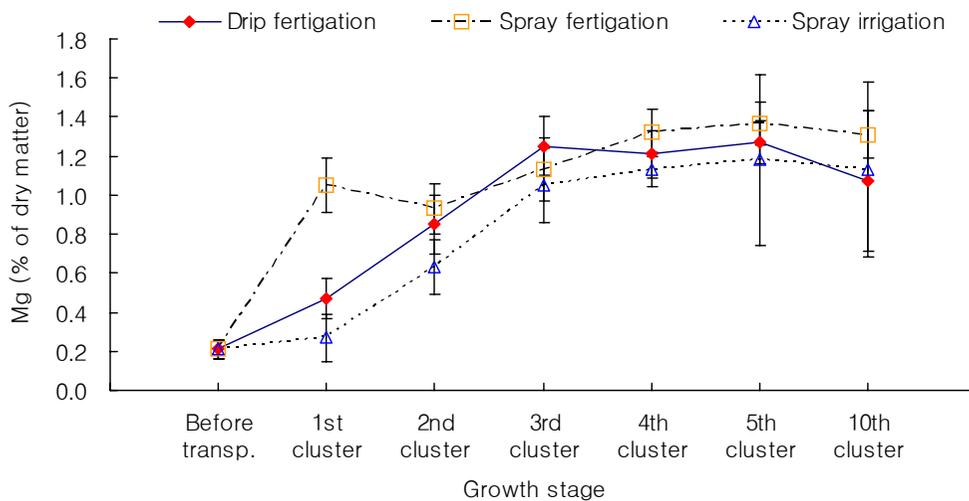


Fig. 12. Changes in magnesium in petioles at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.



Fig. 13~17은 토마토 과일 건물체내 무기성분 농도를 나타낸 것이다. 과일의 건물체내 T-N 농도(Fig. 13)는 생육초기 1화방에서나 생육후기인 10화방에서 비슷하였으나, 분사식 관수처리에서는 후기로 갈수록 점차 감소하는 경향이였다. 과일 내 P의 농도(Fig. 14)는 전반적으로 3화방 과일 비대기에 약간의 증가 경향을 보였으나 이후 감소하여 생육초기의 과실 비대기의 수준으로 회복되었다. K 농도(Fig. 15)도 전반적으로 일정한 수준을 유지하였으나 점적식 관비처리에서는 약간 증가하는 경향을 보이긴 했으나 대체로 일정한 수준을 보였으며 분사식 관비처리에서는 3화방 이후의 후기로 갈수록 약간 감소하는 경향을 보였다. Ca 농도(Fig. 16)는 1화방 비대기 이후에 감소하기 시작하여 지속적인 감소경향을 보였는데 이는 P 함량이 많아질수록 Ca 함량은 감소하는데 기인한 것으로

생각되었다. 이러한 결과는 Ca가 P와 Mg의 흡수를 방해한다는 박과 김 (1998)의 보고와 일치한다. 류 등(1990)은 토마토 과실의 무기성분 중 K, Ca 및 Mg의 농도는 높았으나 과실의 성숙중에 무기성분의 변화는 크지 않았다고 보고한 바 있다. 본 실험에서 Ca은 점적식 관수나 분사식 관수 처리에서 1화방 비대기 이후 급격히 감소하여 4화방 비대기부터는 거의 0.6% 포인트 내의 농도로 후기까지 유지되었는데 그 원인은 일정한 시점에서 생육단계에 따른 분석을 함으로써 식물체 노화가 급속히 진행되어 Ca 흡수가 저해되었기 때문이 아닌가 하고 생각된다. 분사식 관수처리에서는 1화방 비대기부터 후기 화방까지 일정한 수준을 유지하였고, Mg 농도도 생육후기까지 일정한 수준을 유지하였는데(Fig. 17) 이는 류 등(1990)의 결과와 비슷하다고 생각된다.

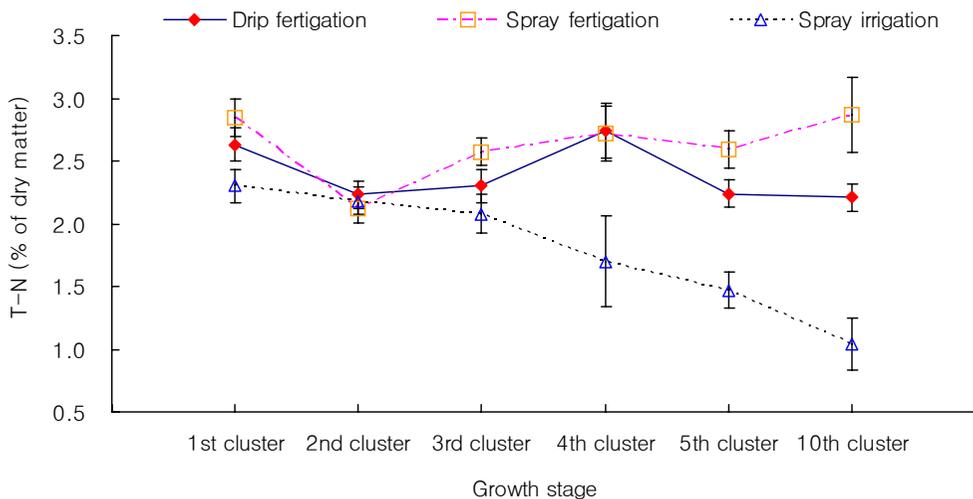
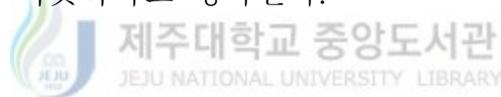


Fig. 13. Changes in total nitrogen in fruit at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

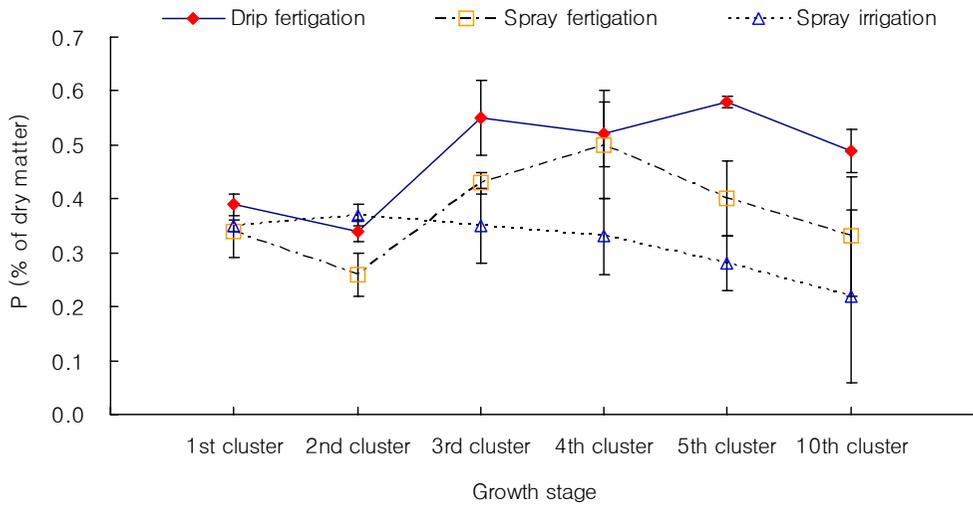


Fig. 14. Changes in phosphate in fruit at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

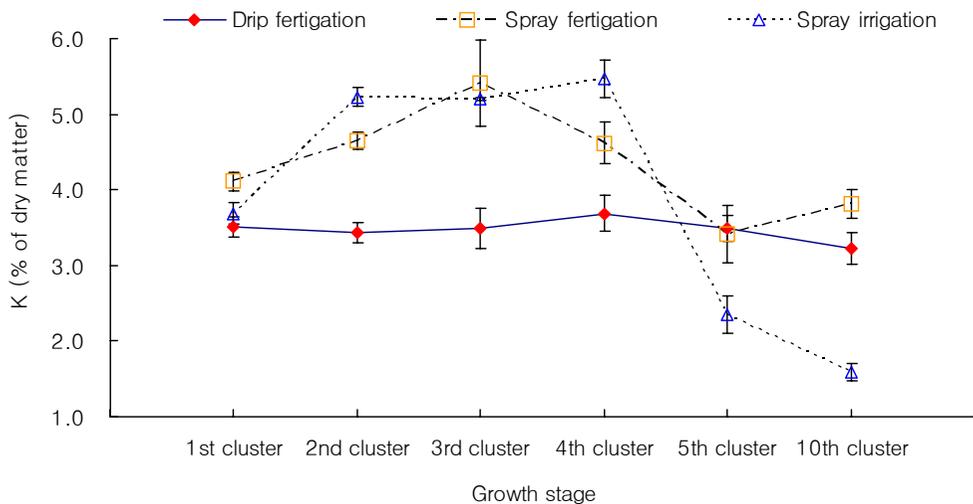
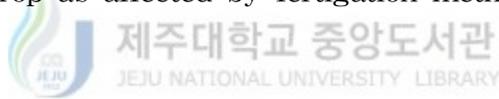


Fig. 15. Changes in potassium in fruit at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

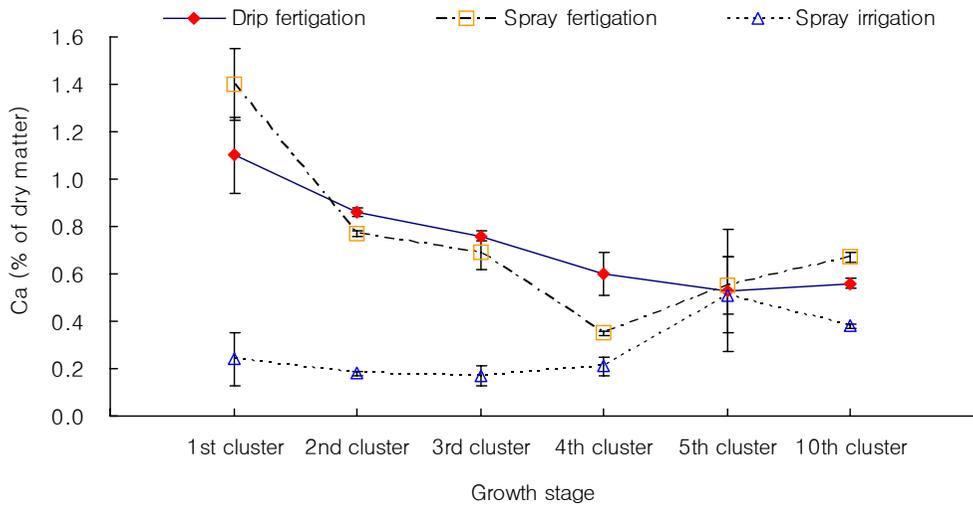


Fig. 16. Changes in calcium in fruit at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

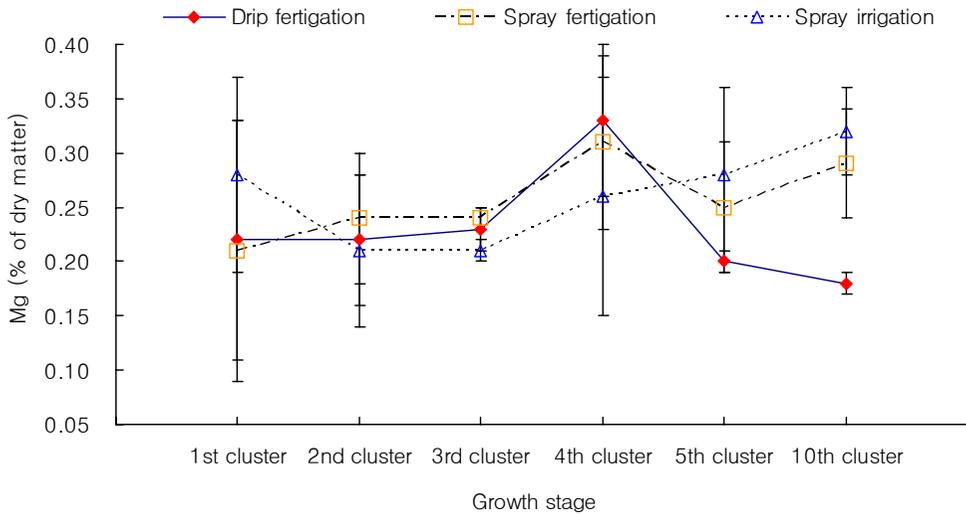
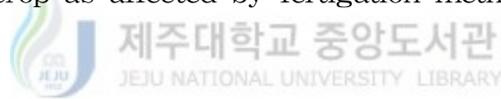


Fig. 17. Changes in magnesium in fruit at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

토마토 줄기 건물체내 무기성분 농도는 Fig. 18~22에 나타내었다. T-N의 농도(Fig. 18)는 유묘기에서 1화방 과일 비대기까지 증가하다가 이후 점차 감소하여 안정한 상태를 유지하였다. P의 농도(Fig. 19)는 정식전 유묘상태에서 보다 정식후에 약간 증가하기 시작하여 후기까지 꾸준히 증가하는 경향이였다. 처리별로 보면 점적식 관비처리에는 완만한 증가를 보인 반면 분사식 관비나 분사식 관수처리에서는 불규칙한 증가를 보였다. K 농도(Fig. 20)는 정식 후 과일 비대기부터 점차 감소하기 시작하여 3화방 과일 비대기에 약간의 증가를 보였으나 전반적으로 안정된 농도를 유지하였다. Ca 농도는 전반적으로 정식 후 1~2화방 과일 비대기까지 점차 증가하다가 3화방 과일비대기에 일시적으로 감소하는 경향을 보였으나 4화방 과일 비대기부터 다시 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 21). Mg 농도(Fig. 22)는 정식 후 1화방 과일 비대기에는 약간 감소하였으나 그 이후 그 수준에 유지되다가 생육 중기 이후부터 약간 증가하였다.

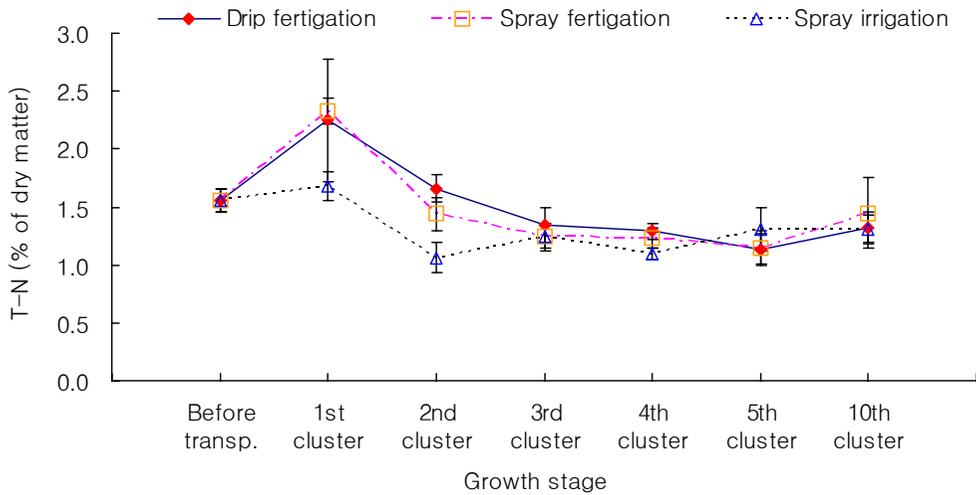


Fig. 18. Changes in total nitrogen in stem at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

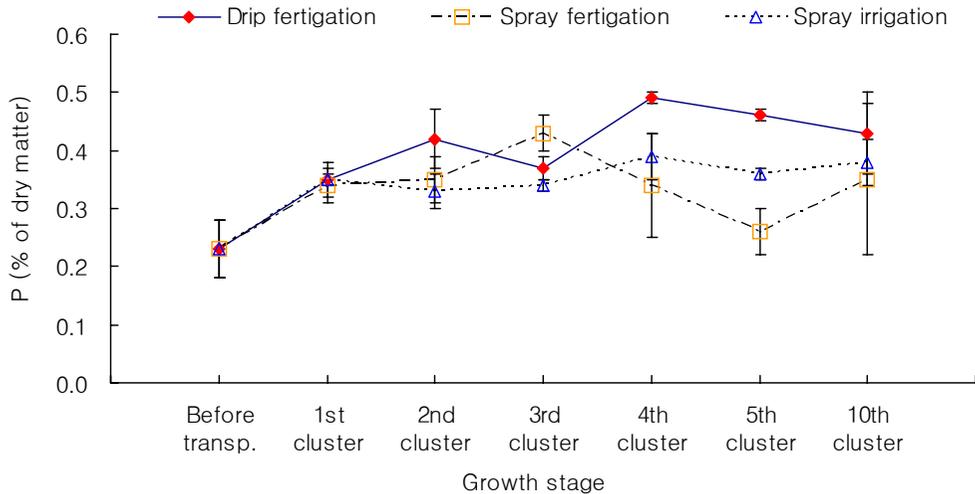


Fig. 19. Changes in phosphate in stem at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

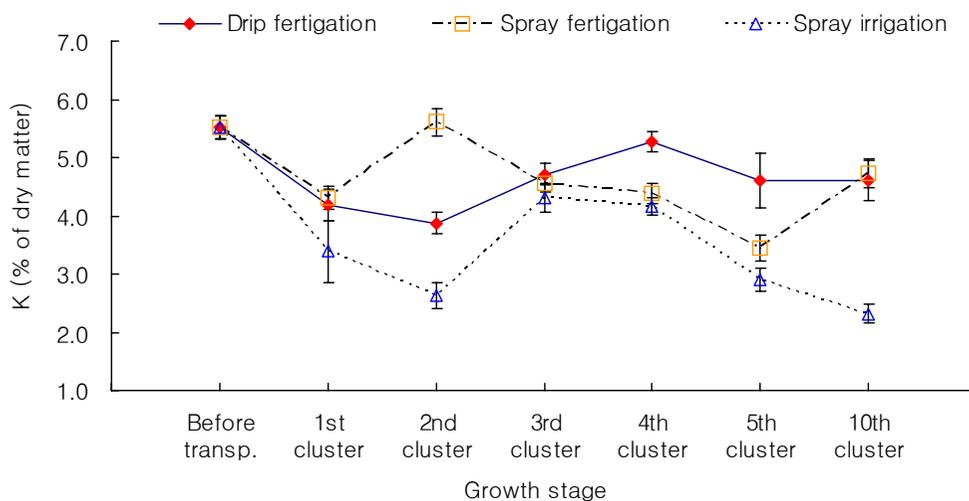


Fig. 20. Changes in potassium in stem at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

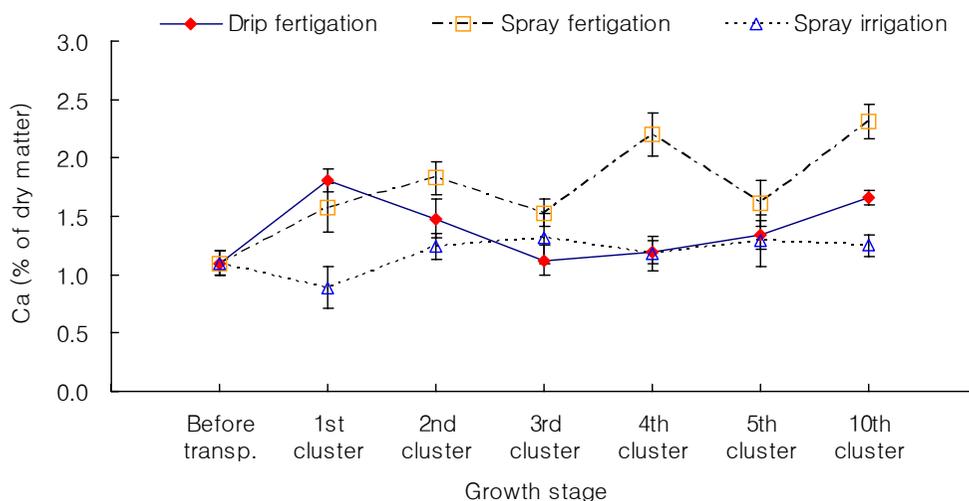
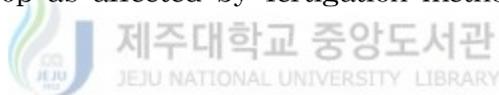


Fig. 21. Changes in calcium in stem at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

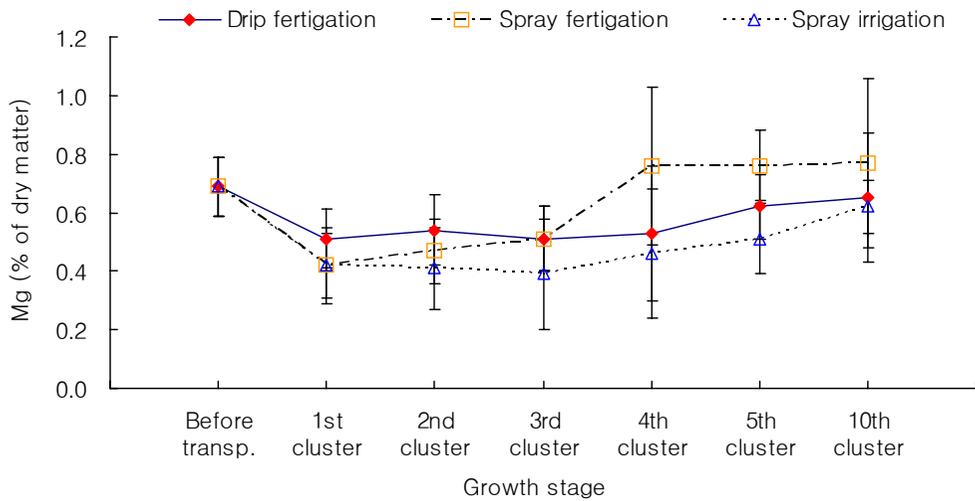


Fig. 22. Changes in magnesium in stem at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

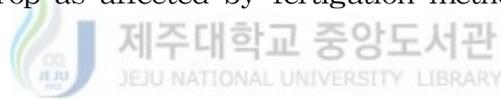


Fig. 23~27은 토마토 뿌리 건물체내의 무기성분 농도를 나타낸 것이다. T-N 농도(Fig. 23)는 정식 후 감소하기 시작하여 2화방 과일 비대기 이후에는 일정한 농도로 유지되는 경향이였다. 점적식 관비에서는 일정한 수준을 보인 반면 분사식 관비에서는 높고 낮음이 반복되는 경향을 보였다. 이는 토양내 수분상태에 따라 양분의 용해성이 높고 낮아짐에 기인된 것으로 생각된다. P의 경우도 T-N 농도와 마찬가지로 정식 후 감소하다가 2화방 과일 비대기부터 점차 증가하여 일정한 수준으로 유지되었다(Fig. 24). K 농도(Fig. 25)는 점적식 관비처리에서는 일정한 수준으로 후기까지 유지가 되었으나, 분사식 관비처리에서는 2화방 과일 비대기까지 점차 증가하다가 이후 감소하는 경향을 보였다. 분사식 관수처

리에서는 1화방 과일 비대기에 약간 증가하였다가 이후 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 26과 27은 생육단계별 뿌리의 건물체내의 Ca과 Mg의 농도를 나타낸 것이다. Ca 농도를 보면 점적식 관비와 분사식 관수처리에서는 정식 후 과일 비대기까지 흡수가 증가되어 유지하였다. Mg의 경우에는 점적식 관비처리와 분사식 관비처리에서 정식 후 과일비대기까지 그 농도가 감소하여 1화방 과일 비대기 이후 일정한 수준으로 유지되었으나, 분사식 관수처리에서는 계속적인 감소를 보였다. 김 등(2000a)은 $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ 의 비율을 8:2로 하였을 때, 단고추의 K^+ 함량은 줄기와 잎에 많으나 과실과 큰 차이가 없었고 뿌리에 0.66~0.76 범위로 흡수되었다고 하였다. 또한 Ca^{2+} 함량은 뿌리에 많고 과실에는 적었고, Mg^{2+} 함량은 잎과 줄기에 많고 뿌리에는 적었으며, PO_4^- 의 함량은 줄기와 과실에 많았고 잎과 뿌리에는 적었다고 하였다. 즉 K^+ , Mg^{2+} , PO_4^- 의 함량은 대부분 식물체의 줄기와 잎에, Ca^{2+} 는 뿌리에 많다고 하는 사실을 입증하였다.

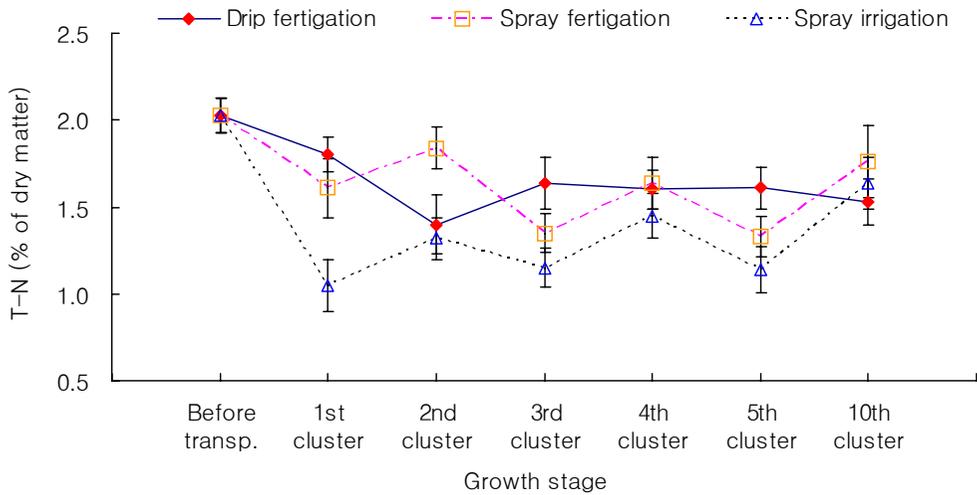


Fig. 23. Changes in total nitrogen in root at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

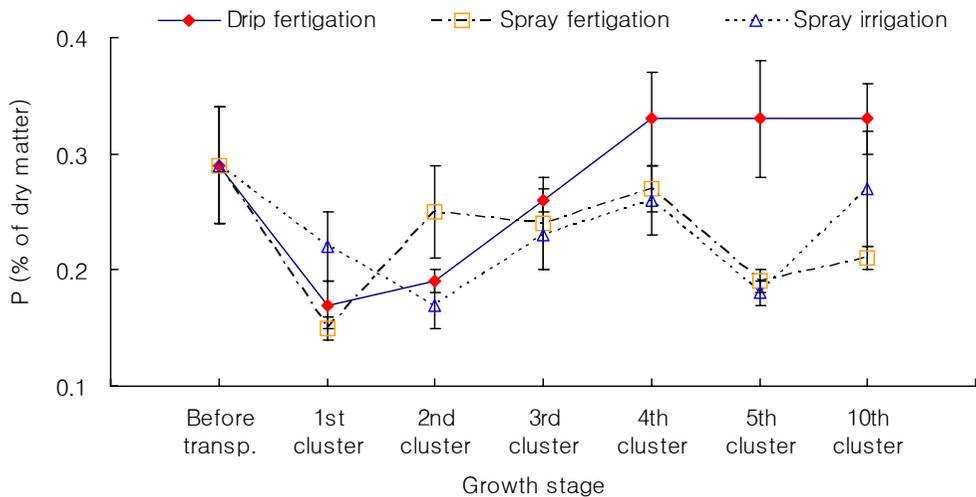


Fig. 24. Changes in phosphate in root at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

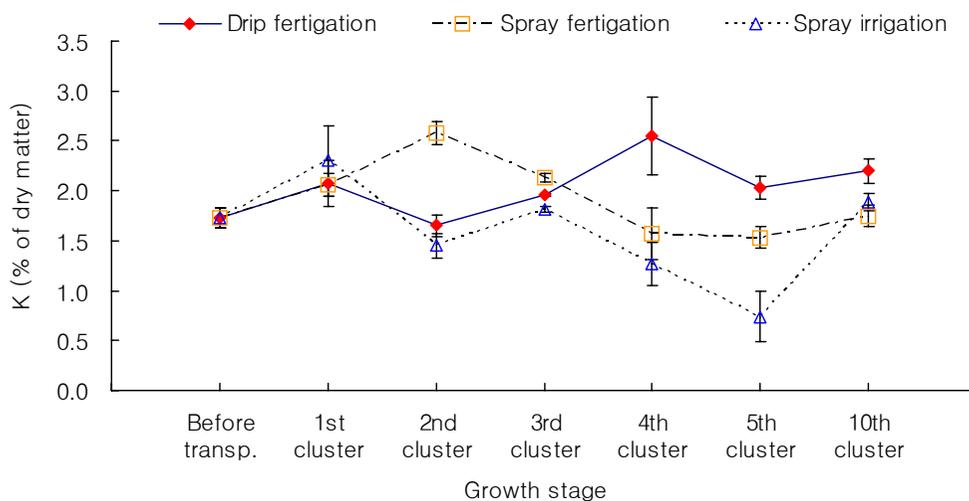


Fig. 25. Changes in potassium in root at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

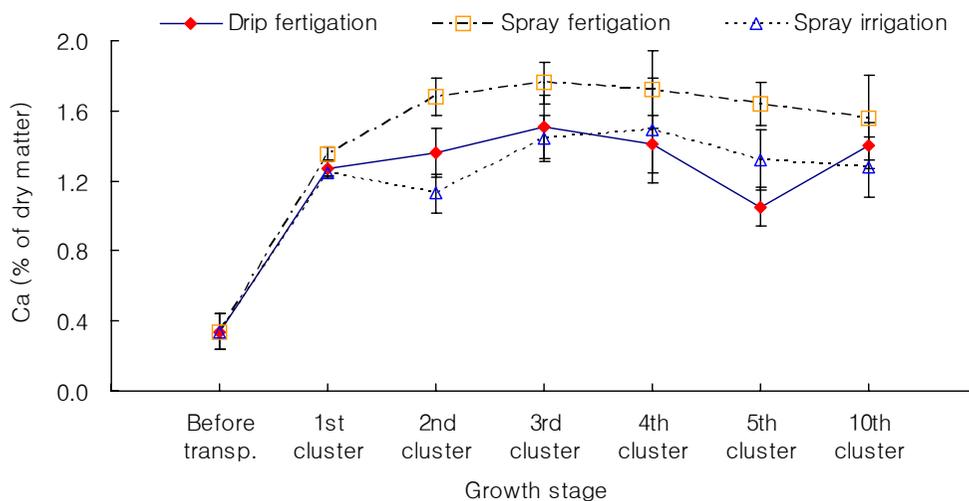
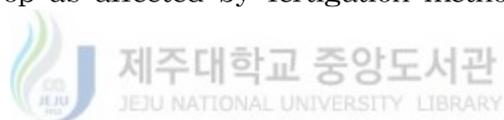


Fig. 26. Changes in calcium in root at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.

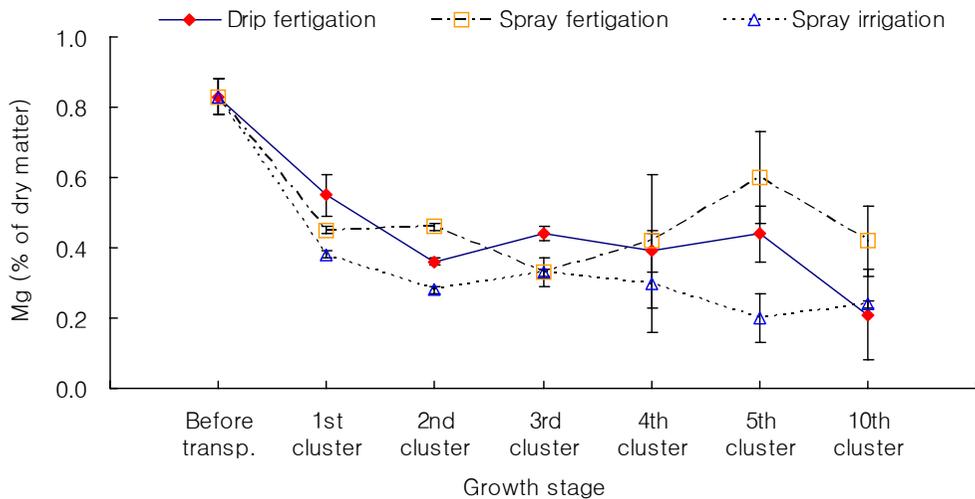


Fig. 27. Changes in magnesium in root at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method.



토마토 정식 후 생육시기별 양분 흡수량의 변화를 보면 $K > Ca > T-N > Mg > P$ 의 순으로 초기보다는 후기로 갈수록 많아졌다는 황 등(1997)의 보고와 K의 시비농도가 증가함에 따라 Ca와 Mg의 흡수가 감소하였다는 김과 김(1984)의 보고와 비교해볼 때 본 시험과 약간의 차이가 있었다. 그러나, 재배 후기의 토마토 뿌리와 경영 중의 질산태 질소와 인산의 흡수량이 현저히 감소하는 반면 양이온인 K, Ca 및 Mg의 흡수량은 증가하였다는 김 등(2003)의 보고는 본 시험의 결과와 유사한 결과로 생각된다.

Table 8은 식물체의 무기성분간의 상관관계를 분석한 결과이다. 1화방에서는 T-N와 K, T-N와 Ca가 정의 상관을, 그리고 K는 Ca와 높은 정

의 상관을 나타내었다. 3화방에서는 P와 Ca가 높은 정의 상관, K와 Mg과는 높은 부의 상관을 나타내었다. 5화방에서는 T-N과 K가 높은 정의 상관을 나타내었고, K는 Ca와 부의 상관관계를 나타내었다.

이러한 결과는 김 등(2004)이 생육이 진전될수록 관비간격에 따른 오이 잎자루 즙액내 N, K 흡수량은 고도의 상관을 나타내었다고 하였는데, 본시험에서도 생육후기로 갈수록 T-N와 K와는 높은 상관을 나타내어 이를 잘 뒷받침하고 있다.

Table 8. Correlation coefficients among the mineral contents in tomato crop.

	1st cluster stage				3rd cluster stage				5th cluster stage			
	T-N	P	K	Ca	T-N	P	K	Ca	T-N	P	K	Ca
P	0.29				-0.29				-0.38			
K	0.85*	0.47			0.42	-0.37			-0.96**	0.53		
Ca	0.84*	0.53	0.94**		-0.55	0.93**	-0.62		0.75	-0.87	-0.81*	
Mg	0.29	0.39	0.69	0.67	-0.10	0.44	-0.90**	0.56	-0.01	-0.47	0.06	0.46

*, ** Significant at 5 and 1% probability levels.

5. 식물체당 무기성분 농도

Fig. 28부터 30까지는 관수방법에 따른 식물체당 토마토의 건물체내 무기원소 농도를 나타내었다. 정식후 1화방 착과비대기(정식후 35일째)의 토마토 식물체당 무기원소 농도는 K, T-N, Ca, Mg, P 순으로 높은 함량을 보였으며, 처리별 각 무기성분 함량의 차이를 보면 T-N는 분사식 관비구와 점적식 관비구에서 비슷한 함량을 보인 반면, 무비 분사식 관수구는 높은 함량을 보였고, P는 처리간 큰 차이를 보이지 않았으며, K와 Ca는 분사식 관비구, 점적식 관비구, 무비 분사식 관수구 순으로 만았으나, Mg는 처리간 차이를 보이지 않았다.

Fig. 29에서 3화방 과실 비대기의 무기성분 함량은 K, T-N, Ca, Mg, P 순으로 높은 함량을 보였으나, T-N, Ca는 비슷한 수준을 보였다.

처리별 무기성분 함량을 보면(Fig. 29) T-N는 무비 분사식 관수구에서 다른 처리보다 약간 낮은 함량을 보였고, P는 점적식 관비구에서 낮은 함량을 보였다. K는 분사식 관비구, 점적식 관비구, 무비 분사식 관수구 순으로 많았으며, Ca는 분사식 관비구에서 다른 처리보다 많았으나, 점적식 관비나 무비 분사식 관수구에서는 비슷한 함량을 보였다. Mg는 처리간 비슷한 함량을 보였다.

Fig. 30에서는 제5화방 과실 비대기 식물체당 무기성분 함량을 나타내었다. 무기성분 함량은 K, T-N, Ca, Mg, P 순으로 높은 경향이었으며, 처리별 무기성분 함량을 보면 T-N는 무비 분사식 관수구에서 점적식 관비구, 분사식 관비구 보다 높았으나, P는 점적식 관비구에서 분사식 관비나 무비 분사식 관수구보다 높게 나타났다. K는 점적식 관비구와 분

사식 관비구는 비슷한 수준으로 무비 분사식 관수구보다 높게 나타났다. Ca는 분사식 관비구, 점적식 관비구, 무비 분사식 관수구 순으로 많았으며, Mg 함량은 처리간 차이를 보이지 않았다. 토마토의 경우 N은 영양생장기, K은 생식생장기에 관여하고(정 등, 1992), P는 세포 분열 및 잎의 성장에도 필요성이 크지만 식물의 개화와 결실에는 필수적인 원소로 알려져(Marschner, 1986) 점진적으로 생장이 활발히 진행됨에 따라 감소하는 경향이므로 본 시험을 잘 뒷받침하고 있다. 식물체당 Mg 농도는 1화방보다는 5화방에서 높았는데, 이는 Mg이 엽록소의 구성성분이며 광합성의 인산화작용 등에 관여하는 원소로써 초기생장에는 Mg 요구량이 높아지다가 생육후기에는 다소 떨어지는 경향을 나타낸다는 보고(윤 등, 1991)와 약간의 차이가 있다. 또한 무기성분 함량은 많은 식물체에서 생육과 밀접한 관련이 있고(이 등, 1996), 재배기간이 긴 과채류에서는 배양액의 조성이나 유지가 어렵고 토양의 종류나 조건에 따라 무기성분 흡수도 달라진다는 보고(Ruth와 Kafkafi, 1985)가 본 연구를 잘 뒷받침하고 있다. 또한 토마토의 무기이온 흡수량은 생육 초기에 증가하나 생육 후기 이후에는 단위일사량에 따라 어느 정도 유지되며, 생육후기의 양액 흡수량은 생육일수가 증가함에 따라 $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 다소 감소추세를 보이고 P, K, Ca 및 Mg은 다소 증가하거나 유지된다는 보고(김, 2001)와 유사한 결과를 이 연구에서 얻었다.

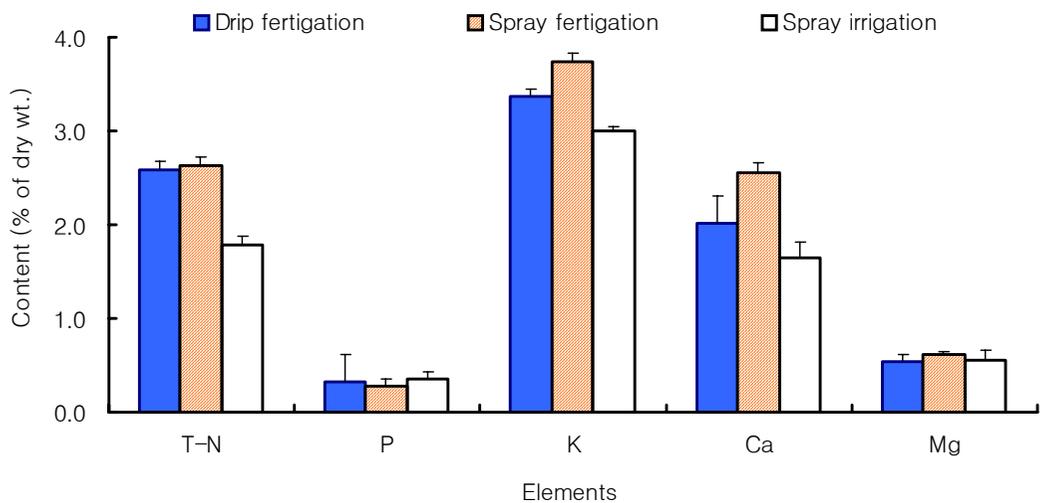


Fig. 28. Contents of major elements in the whole tomato crop at the first cluster stage as affected by fertigation method.

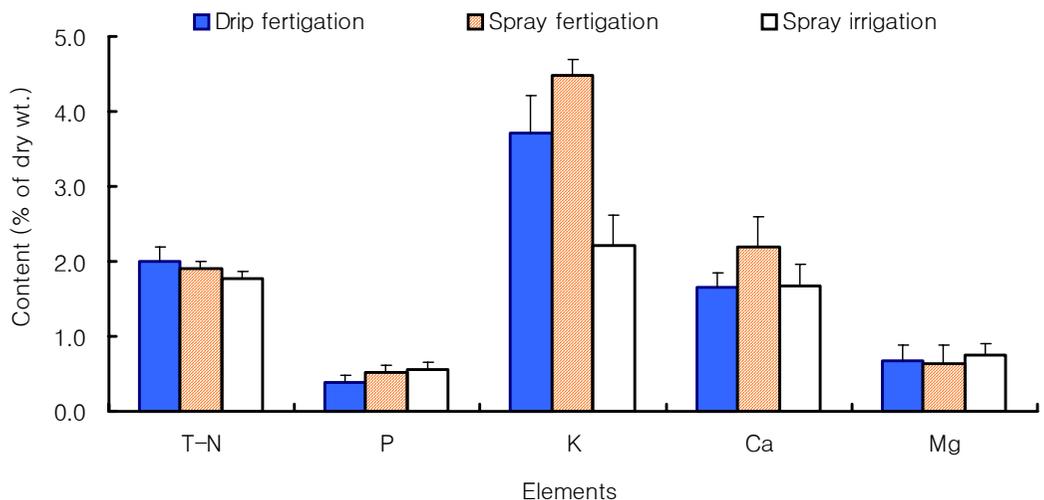


Fig. 29. Contents of major elements in the whole tomato plant at the third cluster stage as affected by fertigation method.

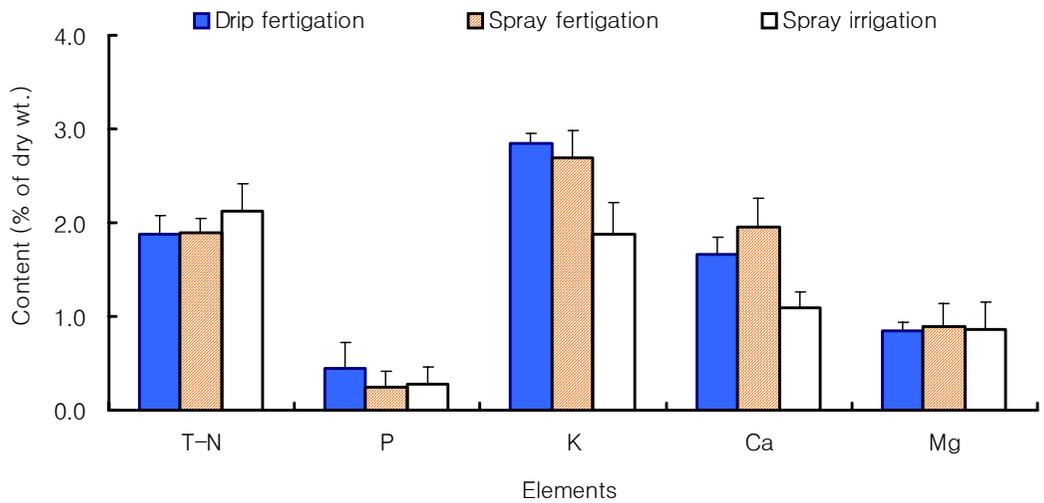


Fig. 30. Contents of major elements in the whole tomato plant at the fifth cluster stage as affected by fertigation method.

6. 잎의 엽록소 함량

Fig. 31은 생육단계별 토마토 잎의 엽록소 함량을 나타내었다. 엽록소 함량은 전반적으로 생육초기에 증가하였다가 중기 이후 약간 감소하는 경향을 나타내고 있으나, 점적식 관비처리에서는 안정적인 수준을 보였다. 처리별로는 정식 후 35일째인 1화방 과실 비대기에 분사식 관비처리에서 $54.0\text{mg}/100\text{cm}^2$ 으로 가장 높았으며 점적식 관비처리에서는 $52.2\text{mg}/100\text{cm}^2$, 분사식 관수처리에서는 $49.8\text{mg}/100\text{cm}^2$ 이었다. 정식 후 60일인 2화방 과실 비대기에 점적식 관비처리와 분사식 관비처리에서 각각 $52.0\text{mg}/100\text{cm}^2$ 과 $54.7\text{mg}/100\text{cm}^2$ 로 분사식 관수처리보다 높았다. 5화방 과실 비대기의 엽록소 함량은 점적식 관비에서 $52.7\text{mg}/100\text{cm}^2$ 로 가장 높았고, 분사식 관비에서 $50.3\text{mg}/100\text{cm}^2$, 분사식 관수처리에서 $46.0\text{mg}/100\text{cm}^2$ 순으로 낮게 나타나 생육후기로 갈수록 분사식 관비처리나 관수처리에서는 점적식 관비처리에 비해 엽록소 함량이 낮은 경향이였다.

잎의 엽록소 측정치는 단위면적당 질소 흡수량과 유의성 있는 정의 상관 관계를 보이고 있으므로 토마토의 질소 영양진단의 지표로 사용이 가능하지 않을까 생각되며, 홍 등(2001)의 토마토 재배기간 중 최대 엽록소 측정치는 정식 후 45일째 15매 엽에서 측정된 이후 점차 감소하였다는 보고와 본 시험에서 처리간에 약간의 차이는 있었으나 유사한 결과를 보였다. 김 등(2000c)은 토마토의 수분함량이 적어지면 엽록소측정 값이 높아진다고 하였고, 유와 배(2004)는 토양의 수분함량은 엽록소 함량과 밀접한 관련이 있다고 보고한 바 있는데 본 시험에서 점적식 관비가 분사식 관비나 분사식 관수 처리보다 엽록소 측정치가 안정적이었던 것은 토양의 양수분 함량의 변화가 적은 것과 유사하다고 생각된다. 실제로 고등식물의

광합성은 수분에 의해 크게 제한을 받게 되는데 수분공급이 제한되면 식물은 스트레스를 받게 되어 체내에 ABA 함량이 증가하여 기공이 닫히기 시작하고 CO₂ 흡수에 영향을 미치게 되어 그 결과 광합성에 영향을 미치게 된다(Kramer, 1983; Salisbury와 Ross, 1992).

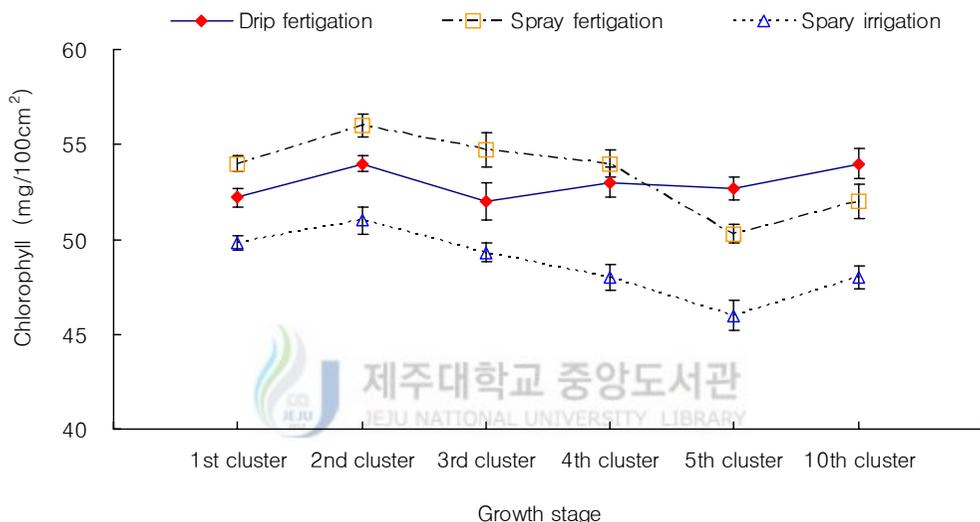


Fig. 31. Changes in leaf chlorophyll content at different growth stages as affected by fertigation method.

Table 9와 10은 토마토 잎의 엽록소와 무기성분 함량과의 상관관계를 나타낸 것이다. 1화방 비대기에서 잎의 엽록소 함량은 무기성분 중 T-N 및 K와 정의 상관을 보였다(Table 9). T-N은 K와 높은 정의 상관, Ca와는 정의 상관관계를 나타내었으며, P는 Mg과 높은 정의상관을 나타내었고, K는 Ca와 정의 상관을 보였다. 생육 후기인 5화방에서의 잎의 엽록소 함량은 무기성분 중 T-N 및 P와 정의 상관을 나타내었으며, T-N은 K와

정의 상관, P는 Ca와 높은 정의 상관, 그리고 Ca은 Mg과 정의 상관을 나타내었다(Table 10).

이러한 결과는 Ca는 원형질막의 투과성에 관여하는 원소로서 이온의 흡수를 조절하는데 결핍시 Mg가 다량 흡수되어 과잉장해를 유발한다고 한 김 등(2001)의 결과와 우리나라 남부지방 시설재배지에서의 하우스 작물의 잎 중 무기원소의 상관관계에서 N는 P와 K, P은 Ca와 Mg, K는 Ca와 Mg과 높은 부의 상관관계를 가진다는 보고(하 등, 1997)와 약간의 상이한 차이를 보였다. 또한 홍 등(2001)이 토마토 엽록소 측정치는 질소 흡수량과 유의성 있는 정의 상관을 보였다는 결과는 본 시험을 잘 뒷받침하고 있다.

Table 9. Correlation coefficients between chlorophyll content and mineral element content in leaf at the 1st cluster stage.

Element	Chlorophyll	T-N	P	K	Ca
T-N	0.92527*				
P	0.61989	0.27594			
K	0.96249*	0.99347**	0.38376		
Ca	0.70147	0.91938*	-0.1243	0.86852*	
Mg	0.74251	0.43296	0.98588**	0.53293	0.04347

*, ** Significant at 5 and 1% probability levels.

Table 10. Correlation coefficients between chlorophyll content and mineral element content in leaf at the 5th cluster stage.

Element	Chlorophyll	T-N	P	K	Ca
T-N	0.98150*				
P	0.85177*	0.73560			
K	0.83877*	0.92751*	0.42918		
Ca	0.72720	0.58231	0.97904*	0.23620	
Mg	0.30403	0.11600	0.75808	-0.26370	0.875024*

*, ** Significant at 5 and 1% probability levels.



7. 토양의 이화학적 성질 변화

Table 11은 관수방법에 따른 시험 전후에 토양의 화학성분의 변화를 나타낸 것이다. pH는 분사식 관비처리에서 시험전보다 시험 후에 낮았다. 토양의 EC는 점적식 관비나 분사식 관수처리에서는 시험 후 낮아지는 경향이었으나, 분사식 관비처리에서 시험전 0.6에서 $1.24\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 로 증가하였다. 유기물 함량은 모든 처리구에서 시험전의 2.8%보다 시험 후에 감소 경향을 보였는데, 분사식 관수처리에서 2.1%로 가장 많은 감소를 보였다. 유효인산은 유기물 함량과 마찬가지로 시험전 $319\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서 각각 174, 143 및 $127\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 감소하였다. T-N는 분사식 관비처리에서 1.6%에서 1.8%로 증가하였으나 점적식 관비처리나 분사식 관수처리에서는 감소하는 경향을 보였다. 치환성 양이온 K의 함량은 시험 전보다 시험 후에 증가하였는데 분사식 관비처리에서 $3.53\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 가장 높았고 분사식 관수처리에서 $1.68\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 가장 적은 증가를 보였다. Ca 함량은 시험전 $12\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 에서 모든 처리구에서 감소하는 경향을 보였는데 분사식 관수처리에서 $3.82\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 가장 많은 감소를 보였다. Mg 함량은 4.26에서 각각 1.5, 1.44 및 $1.31\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로 감소하였다.

토양의 기지화를 초래하는 요인 중에 토양 pH 저하 및 토양중 NO_3 함량과 더불어 EC 증가는 과비에 의한 염류집적이 주요인으로 꼽히는데 (이 등, 2001b), 본 시험의 분사식 관비에서 다른 처리에 비해 토양 EC가 증가하는 것은 토마토의 생육 및 생산성이 떨어지는 원인이 되지 않았나 하고 생각된다. 한편, 유기농업의 실증적 연구로 발효퇴비를 시용한 토양의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 함량은 시용 직후에는 다량으로 함유되어 있

었으나 4~5주 후에는 식물체에 의한 급속한 흡수에 의해 미량으로 잔류하였고, 인산, 칼륨, 마그네슘 및 칼슘의 함량은 서서히 감소한다는 보고(노, 2002)와 본 시험의 생육 단계별 토양내 주요 요소들의 함량이 서서히 감소를 보인 것과는 유사한 결과였다.

Table 11. Changes in chemical characteristics of the soil used for the experiment as affected by fertigation method.

Fertigation method	pH (1:5)	EC (mS · cm ⁻¹)	O.M. (%)	Available P ₂ O ₅ (mg · L ⁻¹)	T-N (%)	Exchangeable cation (mg · kg ⁻¹)		
						K	Ca	Mg
Before treatment								
	6.1	0.60	2.8	319	1.6	1.10	12.08	4.26
After treatment								
Drip fertigation	6.0	0.40	2.2	174	1.2	2.52	5.60	1.50
Spray fertigation	5.3	1.24	2.5	143	1.8	3.53	6.36	1.44
Spray irrigation	6.0	0.42	2.1	127	0.2	1.68	3.82	1.31

관비재배시 토마토의 생육단계별 토양내 이화학적 성질의 변화는 Fig. 32~39에 나타내었다. Fig. 32에서 pH는 처리간의 큰 차이를 보이지 않았고 정식전과 생육 후반기까지도 pH 6.0~7.0을 유지하였다. 일반적으로 EC가 높아지면 pH는 저하되고 염류집적이 많아지므로 일정 성분의 과잉과 부족을 초래할 수 있다(박, 1999). 정과 최(2001)는 토양내 EC를 0.5~5.0mS · cm⁻¹으로 조절하여 오이와 수박묘를 이식했을 경우 근모의 발달을 억제하고, EC 4.0mS · cm⁻¹이상에서는 오이의 경우 3일 이내, 수박

은 5일 이내에 고사하고, EC $3.0\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 이상에서는 생장점의 발달에 이상이 있고 순댓이와 과실비대가 늦어진다고 하였다. 본 시험에서도 분사식 관비처리에서 생육후기로 갈수록 EC가 증가하여 지상부 생육과 수량성이 떨어지는 원인이 된 것이라 생각되며, 적정 토양 pH의 유지는 근권내 무기영양도의 가급태를 증가시켜 식물의 생육을 촉진시킴을 알 수 있었다.

EC의 변화를 보면(Fig. 33) 점적식 관비처리와 분사식 관수처리에서는 정식전과 생육후기까지 비슷한 경향을 보인 반면, 분사식 관비인 경우는 3화방 이후부터 10화방까지는 점진적인 증가를 보였다.

유기물 함량(Fig. 34)은 생육 중기까지 일정한 수준으로 유지되다가 생육후기에 약간의 감소를 보였으나, 분사식 관비처리에서는 1화방 과일 비대기에 감소하였다가 다시 증가하여 3화방 이후부터 서서히 감소하기 시작했다. 강 등(1993)은 일반적으로 시설 토양의 화학적 변화를 보면 토양 pH와 유효인산함량은 생육기간이 경과됨에 따라 뚜렷이 감소하나 유기물과 치환성양이온은 일정한 경향이 없고 pH와 치환성 양이온 함량은 고염농도 토양에서 높은 반면 저염농도 재배지에서는 유효인산과 유기물 함량이 높다고 하였다.

Fig. 35에서 토양 내 유효인산 함량의 변화를 보면 점적식 관비처리한 것은 2화방 과일 비대기까지 약간의 증가를 보였지만 생육후기로 갈수록 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 분사식 관비처리에서는 생육초기에 약간의 증가경향을 보였으나 이후 감소하다가 생육후기에 증가하는 경향을 보였고, 분사식 관수처리에서는 정식 후 1화방 과일 비대기까지 약간의 증가를 보였으나 2화방부터 감소하기 시작하여 생육후기로 갈수록 점진

적으로 감소하는 경향을 보였다.

토양중 양분의 이동은 토양수분 조건이 양호할 경우, 토양내에서 하향 이동이 활발하게 일어나며 식물체에 의한 흡수량도 많아 토층에 남아 있는 양이 적다(류 등, 1994). 류 등(1991)은 일반적으로 토양수분장력이 낮게 유지되는 토양일수록 유효태로 침출되는 인산이 많고 식물체에 의하여 흡수되는 양도 증가한다고 한 바 있다.

서(2005)는 전남지역 시설과채류 농가의 토양의 화학성은 평균 EC 2.73mS · cm⁻¹로 염류집적 정도가 극심하고, 칼슘과 인산 함량이 많았으며, 토양은 중성에 가깝다고 하였는데, 이러한 문제점은 관수조절 및 시비 개선에 의해 해소될 수 있다고 한 바 있다.

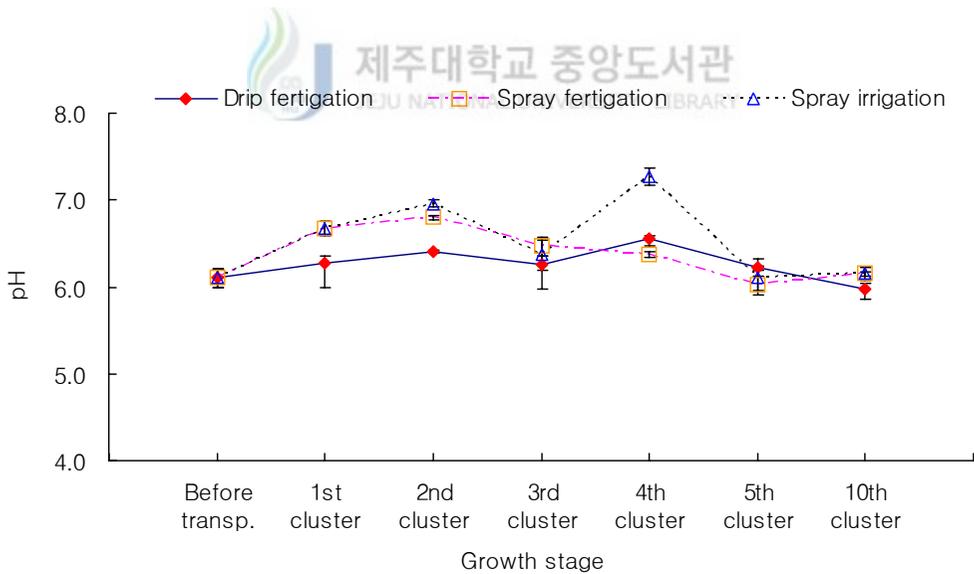


Fig. 32. Changes in pH of soil at different growth stages of tomato crop as affected by fertilization method. Soil samples were taken when fruit reached 3 to 5cm in diameter on the respective cluster.

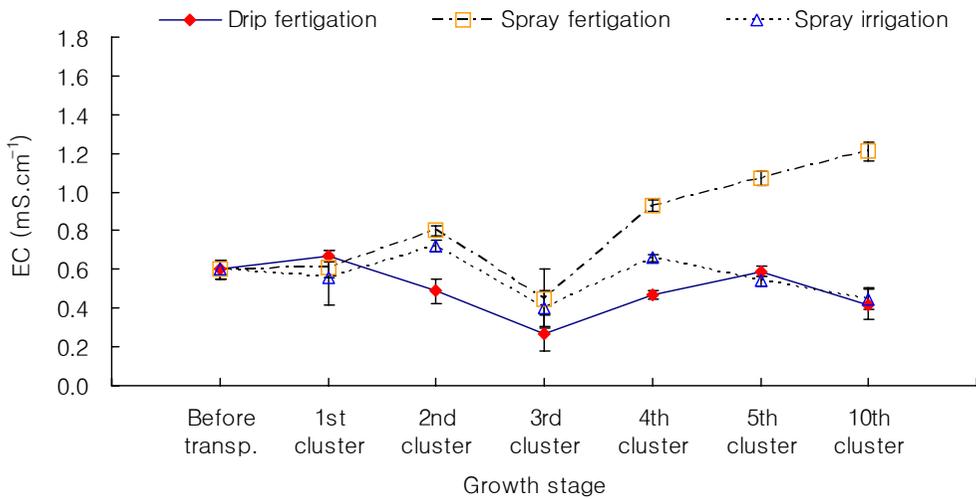


Fig. 33. Changes in electric conductivity of soil at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method. Soil samples were taken when fruit reached 3 to 5cm in diameter on the respective cluster.

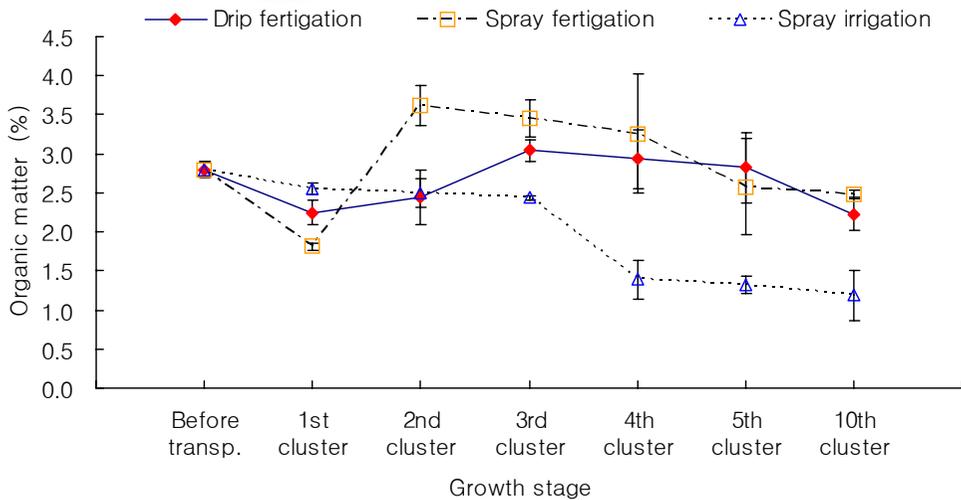


Fig. 34. Changes in organic matter content of soil at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method. Soil samples were taken when fruit reached 3 to 5cm in diameter on the respective cluster.

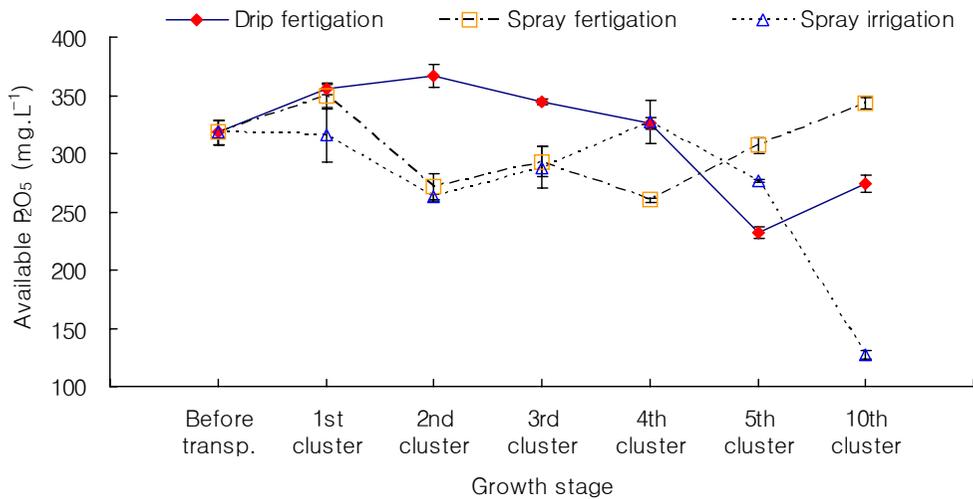


Fig. 35. Changes in available phosphate content of soil at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method. Soil samples were taken when fruit reached 3 to 5cm in diameter on the respective cluster.

토양의 T-N는 생육 후기로 갈수록 약간 많아지는 경향이며 분사식 관비처리에서 점적식 관비처리보다 많았으며, 평균적으로는 시험전보다 시험 후에 증가하는 경향을 보였다(Fig. 36). 반면에 분사식 관수처리에서는 후기로 갈수록 감소하는 경향을 보였는데 이는 비료를 사용하지 않았기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 37은 관수방법에 따른 토양 내 K의 함량 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 생육후기로 갈수록 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 점적식 관비처리에서는 2화방 과일 비대기 이후부터 증가하는 경향을 보였으나 분사식 관비처리에서는 생육초기인 1화방 비대기부터 증가하는 경

향을 보였다. 이에 비해 분사식 관수처리에서는 2화방 이후 생육후기로 갈수록 약간의 감소를 보였다. 또한 토양 내 Ca 함량은 세 처리 모두 후기로 갈수록 전체적으로 감소하는 편이었으나 점적식 관비처리와 분사식 관비처리에서 낮았으며 처리별로 차이가 나타났다(Fig. 38).

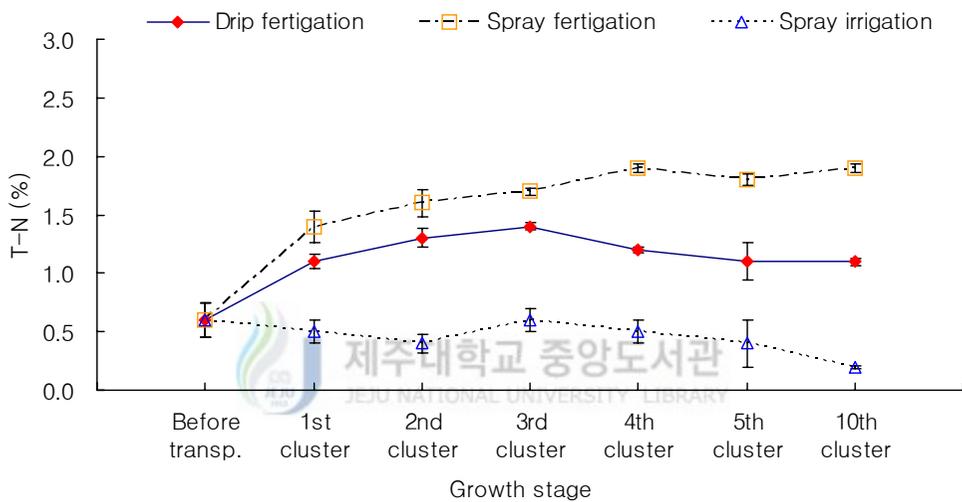


Fig. 36. Changes in total nitrogen content of soil at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method. Soil samples were taken when fruit reached 3 to 5cm in diameter on the respective cluster.

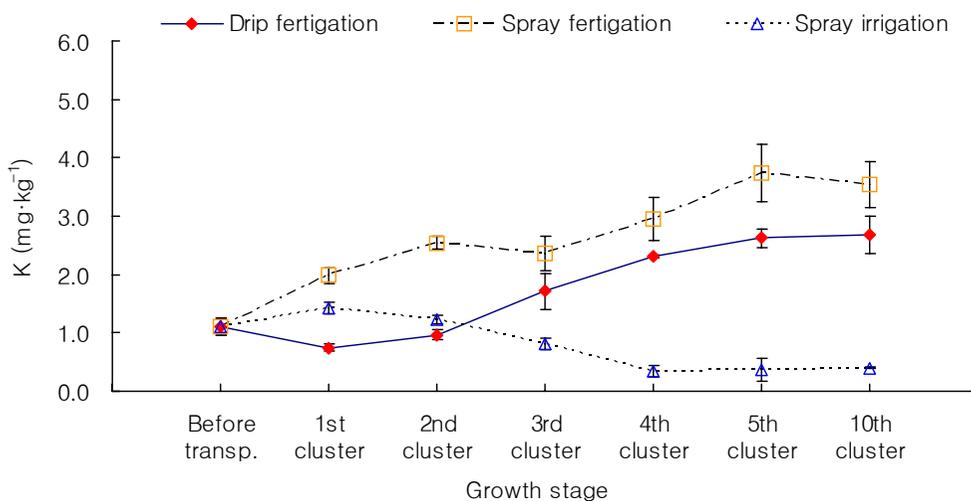


Fig. 37. Changes in potassium content of soil at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method. Soil samples were taken when fruit reached 3 to 5cm in diameter on the respective cluster.

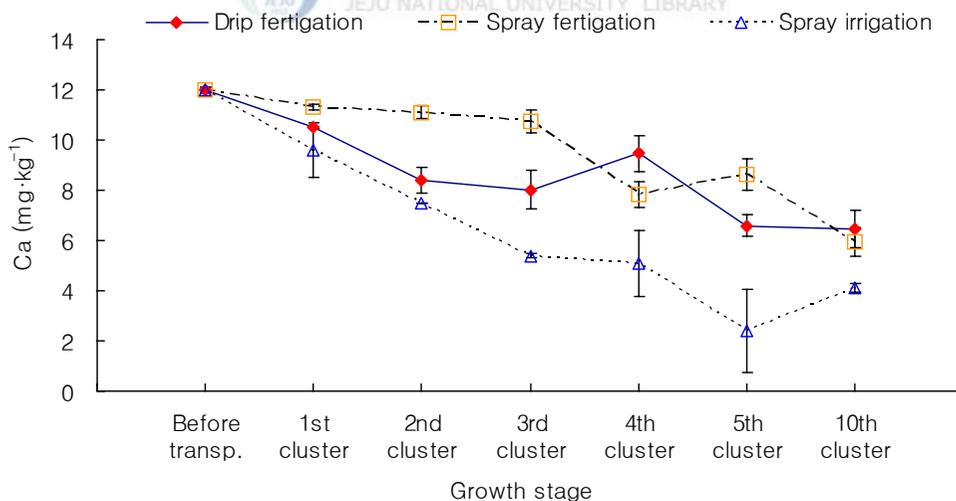


Fig. 38. Changes in calcium content of soil at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method. Soil samples were taken when fruit reached 3 to 5cm in diameter on the respective cluster.

Fig. 39는 토양 내 Mg의 함량변화를 나타낸 것이다. 3화방 과일 비대기까지 큰 변화 없이 일정한 수준으로 유지되다가 이후부터 감소하기 시작하여 생육후기까지 감소하는 경향을 보였다.

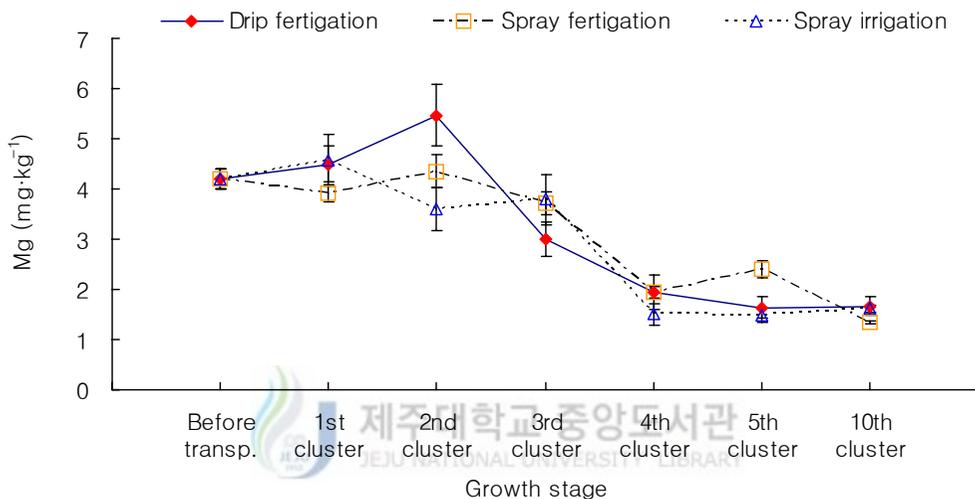


Fig. 39. Changes in magnesium content of soil at different growth stages of tomato crop as affected by fertigation method. Soil samples were taken when fruit reached 3 to 5cm in diameter on the respective cluster.

Table 12, 13, 14에는 화방별 토양의 이화학적 성분들간의 상관관계를 나타내었다. Table 12에서 제1화방단계에서의 pH는 EC와 부의 상관, K와는 정의 상관을 보였고, EC는 유효인산과 정의 상관을, 토양 유기물은 T-N, 치환성 Ca와 부의 상관을, Mg과는 정의 상관을 보였고, 가용성 인산은 T-N와 치환성 Ca와 정의 상관을, T-N는 치환성 Ca과 정의 상관을, Mg과는 부의 상관을 나타내었다. 치환성 양이온인 Ca은 Mg과 부의 상관을 나타내었다.

Table 12. Correlation coefficients between contents of soil components at 1st cluster stage of tomato crop.

	Soil component							
	pH	EC	O.M.	Available P ₂ O ₅	T-N	Exchangeable cation		
						K	Ca	
EC	-0.891*							
O.M.	-0.082	-0.379						
Available P ₂ O ₅	-0.598	0.897*	-0.749					
T-N	-0.189	0.614	-0.963*	0.899*				
Exchangeable cation	K	0.887*	-0.581	-0.532	-0.161	0.285		
	Ca	-0.114	0.553	-0.980*	0.864*	0.997*	0.356	
	Mg	-0.381	-0.079	0.952*	-0.512	-0.835*	-0.764	-0.874*

*, ** Significant at 5 and 1% probability levels.

Table 13에는 제3화방단계에서의 상관관계를 나타내었는데 pH는 EC 및 Mg과 정의 상관을, 유효인산과는 부의 상관을 나타내었고, EC는 유효인산과 부의 상관, Mg과는 정의 상관을, 유기물은 T-N, 치환성 K 및 Ca와 높은 정의 상관을, 유효인산은 Mg과 높은 부의 상관을, T-N는 치환성 K 및 Ca과 정의 상관을, 치환성 K는 Ca와 높은 정의 상관을 나타내었다.

Table 14에는 제5화방단계에서의 상관관계를 나타내었는데 pH는 EC와 Mg과 부의 상관을, EC는 T-N, 치환성 K, Ca 및 Mg과 정의 상관을, 유기물은 치환성 K와 Ca과 정의 상관을 보였다. T-N는 치환성 K, Ca 및 Mg과 높은 정의 상관을, 치환성 K는 Ca 및 Mg과 정의 상관을, Ca는 Mg과 정의 상관을 보였다.

Table 13. Correlation coefficients between content of soil components at 3rd cluster stage of tomato crop.

	Soil component							
	pH	EC	O.M.	Available P ₂ O ₅	T-N	Exchangeable cation		
						K	Ca	
EC	0.968*							
O.M.	0.397	0.156						
Available P ₂ O ₅	-0.822*	-0.938**	0.194					
T-N	0.263	0.015	0.990**	0.331				
Exchangeable cation	K	0.436	0.199	0.999**	0.152	0.983**		
	Ca	0.509	0.279	0.992**	0.069	0.964*	0.996**	
	Mg	0.803*	0.925*	-0.227	-0.999**	-0.363	-0.185	-0.103

*, ** Significant at 5 and 1% probability levels.

Table 14. Correlation coefficients between content of soil components at 5th cluster stage of tomato crop.

	Soil component							
	pH	EC	O.M.	Available P ₂ O ₅	T-N	Exchangeable cation		
						K	Ca	
EC	-0.820*							
O.M.	0.189	0.406						
Available P ₂ O ₅	-0.995	0.759	-0.285					
T-N	-0.500	0.905*	0.755	0.411				
Exchangeable cation	K	-0.317	0.802*	0.871*	0.221	0.979**		
	Ca	-0.333	0.812*	0.863*	0.237	0.983**	0.999**	
	Mg	-0.810*	0.999**	0.421	0.748	0.912*	0.812*	0.821*

*, ** Significant at 5 and 1% probability levels.

이러한 결과는 토양내 Ca 함량의 부족은 K 함량의 증가에 기인한다는 최 등(2001)의 결과와 유사한데, 그들은 양액내 Ca 농도가 높아짐에 따라 잎과 줄기의 Ca 함량은 높아졌으나 K와 Mg 함량은 낮아진다고 한 바 있다.

또한 서(2005)는 시설토양의 pH와 Ca와 상관관계가 있으며, 토양내 EC는 NO₃-N 농도와 상관관계가 있다고 하였는데 본 시험의 결과와 유사한 경향을 보여 이를 잘 뒷받침하고 있다.



V. 종합고찰

시설재배 연작시 토양에서 관비재배의 효율성을 높이기 위하여 관비 방법에 따른 시설토마토의 생육, 수량, 과일품질, 무기양분의 흡수 및 토양의 화학적 변화 특성에 관해 시험한 결과, 토마토의 지상부 생육은 관비와 관수방법에 따라 차이를 보였다. 점적식 관비처리에서 분사식 관비처리나 분사식 관수처리에서보다 일정한 토양수분이 유지되어 지상부 생육이 안정되고 촉진되었다. 관비재배는 토양수분이 거의 일정하게 유지되기 때문에 식물이 받는 스트레스를 줄일 수 있고 적정시비에 의한 재배작물의 균형적 생육을 유도할 수 있다. 이에 반하여 관수가 과다한 경우 토양중의 양분 용탈과 유실량이 증가하고 부족한 경우에는 양수분 부족현상을 유기한다는 것은 기지의 사실이며(加瀨, 1998; 조 등, 1997) 본 시험의 결과에서도 확연히 증명되었다.

토마토의 화방당 착과수는 점적식 관비처리에서 증가하였고, 특히 초기보다는 후기로 갈수록 뚜렷한 차이를 보인 반면 분사식 관수의 경우 토양내 양분이 식물체로 급격히 흡수되는 3화방 발육기부터 차이를 보이기 시작하였으며 비대 정도 또한 타 처리에 비해 낮게 나타났다. 이것은 관수방법에 따라 토양내 수분 및 양분함량이 변화되어 양수분의 불균형이 발생하는 반면 관비재배는 이러한 불균형이 최소화됨을 알 수 있다.

토마토의 수량은 점적식 관비처리가 상품과수 19.5개, 상품과중도 주당 2,854g, 평균무게 148g으로 분사식 관비처리나 분사식 관수처리보다 높게 나타났다. 이는 관비재배가 토양수분을 거의 일정하게 유지시킬 수

있기 때문에 수분스트레스를 줄일 수 있었던 것에 기인한 것으로 판단되는데 고추에서 15~20%, 방울토마토에서 34%가 증수된다는 보고(박, 1998)와 일치하는 결과이다

토마토의 품질 향상측면에서 볼 때 생육단계에 따른 가용성 고형물 함량은 관수방법에 따라 큰 차이를 보이지는 않았으나, 점적식으로 관비한 것이 후기에는 높게 나타났다. 유리당 함량도 자당, 과당 및 포도당 모두 점적식 관비처리에서 높았다. 김 등(2001)은 고당도의 토마토를 생산하기 위하여 관수조절을 할 경우 과실의 당도가 약 2°Brix 가량 증가한다는 보고를 하였는바, 본 시험에서도 생육 후기의 당도가 점적식 관비처리에서 6.56°Brix였던 반면 타 처리는 6.24와 6.18°Brix로 다소 낮았다.

관비방법에 따른 토마토 잎 건물체내의 T-N 농도는 적정범위 3.0~3.8%(이 등, 1995)이내에 있었고, 점적식 관비처리에서 안정적인 수치를 보였으나 분사식 관비처리나 분사식 관수처리에서는 높거나 낮은 수치를 보였다. 수경재배 토마토에 있어서 NO₃-N의 적정 농도는 생육시기에 따라, 양액농도에 따라 다르다고 하였는데(이 등, 1997), 본 시험에서도 관비방법에 따라 T-N의 흡수는 다르게 나타났다. P의 농도는 4화방 비대기까지 점진적으로 증가경향을 보이다가 이후 감소하였으며, 점적식 관비처리에서는 완만한 증가를 보인 반면 분사식 관비 및 관수처리에서도 증가폭이 크게 나타났다. K 함량은 3화방이후 감소하는 경향을 보였으며, 점적식 관비처리는 안정적인 반면 분사식 관비나 관수처리에서는 증가와 감소를 반복하다 3화방이후 감소하였고, Ca는 점적식 관비처리나 분사식 관수처리에서는 안정적인 함량을 보인 반면 분사식 관비처리에서는 다른 처리에 비해 높게 나타났다. 이는 이 등(2001a)의 석탄회 성형배

지에서 토마토의 잎 건물체내의 N, P, K 농도는 후기로 갈수록 같거나 낮아진다고 한 것과 유사하나, Ca와 Mg은 생육 후기로 갈수록 높아진다는 그들의 결과와는 약간의 차이를 보였는데, 이는 석탄회가 일반 재배 토양보다 통기와 보수력을 높여줌으로써 식물체의 양분 흡수를 최대화한 결과에 기인한 것으로 생각된다. 잎자루의 T-N 함량은 1~2화방 비대기 이후 점차 감소하는 경향을 보였는데 이는 김(2003)이 잎몸과 잎자루 즙액의 NO₃ 및 T-N은 초기 증가 경향을 보이다가 이후 감소하였다는 보고와 유사하였으며, P의 함량은 3~4화방까지 안정적인 농도를 보이다가 이후 감소하였으며, K 함량은 3화방이후 감소하였고, Ca 함량은 초기 급격한 흡수이후 일정한 함량을 보였으며, Mg 함량은 생육후기로 갈수록 증가하는 경향을 보였다.

과일 건물체내의 무기성분 농도는 처리간에 약간의 차이를 보였으며 대체적으로 생육 초기에서 후기까지 안정적인 반면, Ca의 농도는 후기로 갈수록 점차 낮아졌다. 이는 토마토 과실의 무기성분 중 K, Ca, Mg의 농도는 높으나 성숙중에 무기성분의 변화는 크지 않다는 보고(류 등, 1990)와는 약간의 차이를 보이고 있다. 하지만 각 화방별로 일정한 시기의 과실내의 무기성분 농도는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 생각된다.

토마토 줄기 건물체내의 무기성분 농도는 생육 초기부터 후기까지 큰 변화를 보이지 않았으나 P 함량은 후기로 갈수록 약간 증가하는 경향이 있었다. 관비방법에 따라서는 약간의 차이를 보였다. 분사식 관수처리에서 생육 후기로 갈수록 타 처리에 비해 농도가 낮아진 것은 토양내 양분의 함량과 관련이 있는 것으로 생각된다. 뿌리의 T-N와 K 농도는 생육기 전반에 안정된 상태를 보였다. P은 일반적으로 토양수분 장력이 낮게 유지

되는 토양일수록 유효태로 침출되는 인산이 많고 식물체에 흡수되는 양도 많은데(류 등, 1991), 생육초기에 약간 감소하는 경향을 보인 것은 정식 후 활착기 동안 토양수분 공급이 양호했던 것에 기인한 것으로 생각된다. Ca는 정식 후 일정한 수준을 유지하였으며, Mg은 생육 후기로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보였다.

시설 토마토에 비료의 과다사용은 토양내에 잔존하는 비료염의 증가로 토양 염류집적을 가중시키는데, 생육시기별 양분 흡수량은 $K > Ca > T-N > Mg > P$ 의 순으로 초기보다는 후기로 갈수록 많아지며(황 등, 1997), 재배기간이 긴 과채류인 경우 토양의 종류나 조건에 따라 무기성분의 흡수도 달라진다(Ruth와 Kafkafi, 1985). 토마토의 무기이온 흡수량은 생육 초기 총 이온 흡수량은 증가시키나 단위 일사량에 따라 일정수준에서 유지되고, 생육후기에는 NO_3-N 는 다소 감소하며 P, K, Ca, Mg은 다소 증가하거나 유지된다(김, 2001). 본 시험에서는 관비방법에 따른 무기이온의 흡수량은 다소 차이가 있으나 이는 수분 공급 방법에 따른 토양수분 유지의 상태와 비료분의 용탈과 집적이 식물체의 흡수율을 가감하였기 때문이 아닌가 하고 생각된다.

식물체가 흡수한 무기성분간의 상관관계를 보면 생육초기인 3화방까지 T-N와 K, Ca와, K는 Ca, P는 Ca와 정의 상관관계를, K는 Mg과 부의 상관을 보였으며, 생육후기인 5화방에서는 T-N는 K와, K는 Ca과 부의 상관관계를 나타내었다. 이러한 결과는 시설재배 작물의 잎 중 무기원소의 상관관계는 N는 P와 K, P은 Ca, Mg과, K는 Ca와 Mg과 높은 부의 상관을 가진다고 한 보고(하 등, 1997)와 약간의 차이를 보였으나, T-N은 K와, K는 Ca와 부의 상관을, Ca는 Mg과 높은 상관관계를 보였다는

결과와는 비슷하였다.

토마토 식물체의 주당 무기성분의 농도는 K가 가장 높고 P가 가장 낮았다. 이는 K는 영양 및 생식생장 전반에 걸쳐 관여하는 필수 원소(정 등, 1992)이고, P는 식물체의 개화 결실에 필수적인 원소이면서 (Marschner, 1986) 세포의 분열과 잎의 성장에도 관여함으로써 생육 초기로부터 후기로 갈수록 감소하는 것으로 생각된다.

질소는 영양생장기에 관여하는 원소로서 T-N함량과 Ca 함량은 생육 후기로 갈수록 약간 낮아지는 경향을 보였다. 반면, Mg는 엽록소 구성성분이며 광합성의 인산화 작용에 관여하는 원소로 초기 생육에는 요구량이 많아지다가 후기에 다소 감소한다는 보고(Marschner, 1986; 윤 등, 1998)와는 약간의 차이를 보였다.

토마토 잎의 엽록소 함량은 단위면적당 질소 흡수량의 간접적 지표로 사용하기에 가능하다고 한 바(홍 등, 2001) 본 시험에서도 엽록소 함량과 질소 흡수량간의 관련이 있었는데, 관비방법에 따른 엽록소 함량은 생육 초기 분사식 관비처리에서 높았으나 생육 후기로 갈수록 점적식 관비처리에서 높았고 분사식 관수처리에서는 지속적인 감소를 보였다. 이러한 차이는, 분사식 관비처리에서 생육 초기의 높은 엽록소 함량은 질소흡수 과다에 기인된 것으로 생각된다. 토마토 잎의 엽록소 함량은 잎의 무기 원소 중 T-N, K 및 P와 높은 정의 상관을 나타내었다.

토양수분을 적절히 유지하고 토양내 적정 산도의 유지는 근권내 영양분의 가급적 범위를 확대시켜 식물의 생육을 촉진시키는데(유, 1994) 반하여 토양내 EC가 높아지면 pH가 저하되고 염류집적이 많아지는데(하 등, 1997), 본 시험에서도 관비방법에 따라 pH와 EC가 차이를 보였는데,

점적식 관비구나 무비 분사식 관수구에서는 시험후 pH나 EC 변화가 적은 반면 분사식 관비구에서는 pH가 저하되고 EC가 증가하여 위의 보고와 비슷한 경향을 보였다. 이는 일시적인 관수나 양분의 투입보다는 적절한 양수분의 공급은 안정적인 토양환경을 유지할 수 있다고 생각된다.

유기물함량은 점적식 관비처리에서는 후기까지 안정적인 함량을 유지하였고, 토양내 유효인산은 생육 후기로 갈수록 감소하는 경향이었는데 토양 중 P 이동은 토양수분이 좋을 경우 토양내 하향이동이 활발하게 이루어지며 식물체에 의한 흡수량도 활발하여 잔존량이 감소한다고 한류 등(1994)의 보고가 이를 잘 뒷받침하고 있다.

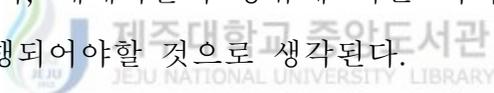
관비 조건에 따라 토양내 T-N와 K는 생육 후기로 갈수록 증가하는 반면 Ca와 Mg은 생육후기로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 이는 고추 재배에서 일반 관수에서보다 점적관수에서 EC, K, Ca, Mg 함량이 낮아졌다는 보고(노, 2002)와 유사한 결과를 보였지만 K인 경우에는 약간 다른 결과를 보였다. 또한 관비횟수가 적을수록 토양 양분의 편차는 크고 특히 영양진단에 의한 시비구에서 토양의 EC가 낮아진다는 보고(김 등, 2004)가 본 시험을 잘 뒷받침하고 있다.

토양내 무기성분간 상관관계는 생육초기 pH는 EC와 부의 상관, 생육중기 3화방에서 EC는 유효인산과 부의상관을 Mg과는 정의 상관을 나타내었으며, 생육후기 5화방에서 pH는 EC와 Mg 함량과는 부의 상관을 나타내었고, EC는 T-N, 치환성 K, Ca, Mg과 정의 상관을 나타내었다. 즉 토양내 Ca 함량의 부족은 K함량의 증가에 기인하고, 양액내 Ca농도가 높아짐에 따라 잎과 줄기에 K와 Mg 함량이 낮아진다고 한 결과(최 등, 2001)와 시설토양의 EC가 증가할수록 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 증가한다는 보

고(서, 2005)와 일치한다.

이상의 결과에서 볼 때, 점적식 관비구는 다른 처리구에 비해 적당량의 양·수분을 작물의 근권에만 공급될 수 있어 식물체가 흡수할 수 있는 능력을 증가 시켜줄 뿐만 아니라, 각 기관의 무기원소 함량이 안정되고 적절한 생육을 유도할 수 있었다. 그 결과 점적식 관비구에서 토마토의 수량과 품질 향상을 도모할 수 있었으며 또한, 근권내의 적정 수분 및 토양산도의 유지는 토양내 EC 농도가 안정되고 치환성양이온이 안정적인 함량을 나타냄으로써 염류집적에 대한 안정도가 높아지는 결과를 보였다.

이러한 결과를 토대로 해서 차후 생육단계별 식물체의 무기성분 함량, 시설내의 온도 변화, 재배작물의 종류에 따른 시비량과 관수량에 대한 세밀한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.



VI. 적요

본 연구는 관비재배의 효율성을 높이기 위해 관비 및 관수방법에 따른 식물의 근권내 적정수분과 토양산도를 유지하여 토양 염류집적에 대한 안정도를 증진시키는 물론 시설 토마토의 수량과 품질 향상을 위해 수행되었다. 관비방법으로 점적식 관비와 분사식 관비, 그리고 대조구인 무비 분사식 관수 등 3처리를 두어, 토마토의 생육, 수량, 품질특성, 무기양분 흡수 및 토양의 화학적 특성 변화를 조사하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 점적식 관비구에서 초장, 엽장, 엽폭 등의 지상부 생육이 양호하였으며, 분사식 관비구에서 생육초기인 착과 비대기에 과번무 현상을 보였다.
2. 화방당 착과수는 1화방 착과 비대기에는 처리간 차이가 없었으나 5화방 과실 비대기에는 점적식 관비구에서 4.2개로 많았다.
3. 점적식 관비구에서 주당 상품과수가 19.5개로 가장 많았으며 상품수량도 2,854kg/10a로 높은 수량성을 보였다.
4. 과실의 가용성 고형물 함량은 생육초기에는 관비방법간에 큰 차이를 보이지 않았으나 생육후기에는 점적식 관비구에서 고형물 함량 및 유리당 함량이 증가하는 경향을 보였다.
5. 엽 건물체내 T-N 농도는 생육초기 2화방까지 점진적인 증가를 보였으나 3화방 이후에는 감소하다가 생육후기에 약간의 증가경향을 보

- 였다. 점적식 관비구에서는 안정적인 농도를 보인 반면 분사식 관비나 무비 분사식 관수구에서는 적정농도 범위보다 높거나 낮은 경향을 보였다.
6. 후기로 갈수록 엽내 P, Ca 및 Mg이 증가하는 경향을 보였으나 T-N와 K 함량은 약간 감소하는 경향을 보였다.
 7. 과일 건물체내 Ca 농도는 점적식 관수와 분사식 관수구에서 1화방 착과 비대기에 일시적으로 증가하였으나 2화방 비대기 이후부터 감소하는 경향이였다.
 8. 뿌리 건물체내 T-N와 K 농도는 생육 후기까지 일정한 수준을 유지하였으나, P은 생육초기에 약간 감소하다가 증가하는 경향이였다. Ca는 생육후기에 증가하였고, Mg은 후기로 갈수록 감소하는 경향이였다.
 9. 생육단계별 식물체 주당 무기이온 농도는 K가 가장 높았고 P가 가장 낮았다. T-N와 Ca는 후기로 갈수록 낮아지고 P와 K는 생육중기인 3화방 이후에 감소하였으며, Mg는 후기로 갈수록 높아지는 경향을 보였다.
 10. 잎의 엽록소 함량은 점적식 관비와 분사식 관비구에서는 생육 중 큰 변화가 없었으나 무비 분사식 관수구 보다는 다소 많은 경향이였다.
 11. 잎의 엽록소 함량과 무기성분간의 상관관계는 생육 초기(1~3화방)에는 T-N, K과 높은 정의 상관, 5화방에서는 T-N, P과 정의 상관관계를 나타내었다.
 12. 처리별 토양내 무기성분 함량은 점적식 관비 처리에서 안정적인 반면 분사식 관비구에서는 높았었고, 무비 분사식 관수구에서는 낮았다.

VII. 引用文獻

- Ban, Y., F. Yamashita and G. Hayashi. 1994. The effect of planting density and the period of high water stress on soluble solids and dry matter content of tomatoes. Res. Bull. Aichi Agric. Res. Center 25:163~167.
- 조연동, 정순경, 허중철. 1997. 방울토마토 관비재배 시스템 개발. 제주도 농업기술원 시험연구보고서. pp. 190~195.
- 최종명, 정석기, 차기휴, 정해준, 서관석. 2001. 마그네슘의 시비농도 조절에 따른 딸기 '여봉'의 결핍증상, 생육 및 무기원소 흡수. 한국원예학회지 42:142~146.
- 전한식, 강상재, 박우철. 1997. 참외 연작장해 대책을 위한 효과적인 토양 관리. 한국토양비료학회지 30:351~356.
- 엄기철, 송관철, 류관식, 손연규, 이상은. 1995. Scaling factor를 이용한 토양수분특성곡선 추정모형. 한국토양비료학회지 28:227~232.
- 하호성, 양민석, 이협, 손보균, 강위금. 1997. 남부지방 시설재배지 토양의 화학성과 작물의 양분함량. 한국토양비료학회지 30:272~279.
- Hayashi. I. 1990. New technique for cut-flower cultivation. Part 2. Rose. Sungmundang. Tokyo. pp. 23~48.
- Hayata, Y., T. Tabe, S. Kondo and K. Inoue. 1998. The effects of water stress on the growth, sugar and nitrogen content of cherry tomato fruit. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 65:759~766.

- 홍순달, 강보구, 김재정. 1998. 시설재배지 토양검정에 의한 배추의 적정 시비량. 한국토양비료학회지 31:16~24.
- 홍순달, 김기인, 박효택, 강성수. 2001. 시설재배 토마토 잎의 엽록소 측정치와 토양 질소공급능력의 상호관계. 한국토양비료학회지 34:85~91.
- 황기성, 박진면, 임명순, 이성재. 1997. 토양의 양분함량이 방울토마토의 수량과 당함량에 미치는 영향. 농업환경연구논문집 39(2):25~29.
- 황선웅, 김유섭, 연병열, 이용재, 박영대. 1993. 몇가지 제염방법에 의한 비닐하우스내 토양의 염류제거 효과. 농업논문집 35(1):276~280.
- 장흥기, 정순주. 1997. 온실멜론의 양액재배에 있어서 영양진단법 확립을 위한 즙액분석. 생물환경조절학회지 6:310~316.
- 정광용. 1994. 유기성 산업폐기물의 농업적 이용. 유기산업의 현황 및 발전 방향에 관한 심포지엄. 농촌진흥청 농업기술연구소. pp. 203~229.
- 정병곤, 최정원, 윤을수, 윤정희, 김유학, 정구복. 1998. 우리나라 시설원예 재배지 토양 이화학적 특성. 한국토양비료학회지 3:9~13.
- 정희돈, 최영준. 2001. 토양의 염류농도가 오이와 수박묘의 생장에 미치는 영향. 원예과학기술지 19(별호1):61(Abstr).
- 정석기, 최종명, 차기휴, 정해준, 최종승, 서관석. 2001. 칼슘의 시비농도에 따른 딸기 '여봉'의 결핍증상, 생육 및 무기원소 흡수. 한국원예학회지 42:284~288.
- 정순주, 서범석, 이범선. 1992. 수경재배 토마토의 성장과 발육에 미치는 질소와 칼리 수준 및 상호작용에 관한 연구. 한국원예학회지 33:244~251.

- 加藤俊博. 1998. 화훼류 관비재배와 환경조절형 순환식 양액재배. 한국양액재배연구회 춘계심포지엄. pp. 21~29.
- 강항원, 강위금, 전연태. 1993. 시설재배지의 염류집적이 근권토양의 미생물상과 화학적 변화에 미치는 영향. 농업과학논문집 35:308~314.
- 金森哲夫, 伊藤秀文, 岩岐請治. 1978. 有機物連用 施設栽培 生育 養分吸收 およぼす影響. 野菜施設栽培年報 4:21~24.
- 김덕호, 김영호, 정현재. 2000a. 자루재배용 배지의 종류와 양액의 NO_3^- -N : NH_4^+ -N의 비율이 단고추의 생육 및 수량에 미치는 영향. 생물환경조절학회지 9:85~93.
- 김기덕, 이재욱, 조일환, 김태영, 우영희, 남은영, 문보흠. 2004. 반촉성 관비재배 오이의 생육단계별 시비관리를 위한 일일시비량 및 엽병즙액의 농도 기준 설정. 생물환경조절학회지 13:96~101.
- 김기돈, 임엄량, 이환구, 윤화모. 2001. 관수조절에 의한 고당도 토마토 생산에 관한 연구. 원예과학기술지 19(별호1): 51(Abstr).
- 김권래, 정한울, 김계훈. 2003. Test strip과 chlorophyll meter를 이용한 토마토의 신속한 영양진단. 한국농화학회지 46:140~143.
- 김희태, 김춘식. 1984. 칼리 시비농도가 수경재배 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향. 농시연보 26-1(원예):6~10.
- 김형준. 2001. 순환식 고품배지 양액재배를 위한 토마토와 오이의 양분흡수 모델링. 충북대학교 박사학위논문.
- 김재록, 최성진, 진만기, 안명훈, 방순배. 2000b. 영아자, 잔대 재배기술 개발 연구. 강원도농업기술원 시험연구보고서. pp. 125~131.

- 김승환, 최두희, 이상민, 남재작, 김한명, 손석용, 송범현. 2003b. 토마토 유묘 생육 및 양분 흡수에 관한 목초액의 영향. 한국유기농업학회 11:103~113.
- 김승유. 1993. 오이배지경 재배법. 시설원예연구 6(2):93~102.
- 김양록. 2003. 즙액분석에 의한 양액재배 토마토의 무기영양 진단. 제주대학교 박사학위논문.
- 김영봉, 안철근, 이영한. 2000c. 토양수분이 토마토의 품질과 수량에 미치는 영향. 한국원예학회지 41:139~142.
- 김영철, 김광용, 서태철, 이지원, 윤형권, 박권우. 2001. 토마토 펄라이트 배지경시 배양액의 칼슘(Ca) 농도가 생육 및 수량에 미치는 영향. 원예과학기술지 19(별호1):51(Abstr).
- 김용철. 1970. 관비농법에 의한 농지자원개발에 관한 연구. 관비농법의 생산성과 관비조성에 관한 연구. 한국원예학회지 8:93~105.
- Kramer, P. J. 1983. Water relations of plants. Academic Press, New York. p.489.
- 이병일, 문원. 1992. 시설원예. 한국방송통신대학교. p.441.
- 이병일, 문원. 1998. 시설원예. 한국방송통신대학교. pp. 132~168.
- 이용호, 이재욱, 권지선, 남윤일, 조일환, 권영삼. 1996. 자루재배에서 배지의 종류가 오이의 생육 및 수량에 미치는 영향. 생물환경조절학회지 5:15~22.
- 이한생, 신원교. 1989. 토양관리와 시비상의 문제점. pp.34~49. 우리나라 시설원예의 발전방향 심포지움. 경상대학교부설 농업자원이용연구소보.

- 이현일, 강위수, 유근창, 김일섭. 2001a. 석탄회성형배지(ash ball)경에서 양·수분 흡수특성 비교를 통한 토마토 배양액 개발. 한국원예학회지 42:11~16.
- 이경자, 강보구, 김현주, 박성규, 민경범. 2001b. 질소비종이 토양의 pH, EC, NO₃-N 함량 및 상추 생육에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 34:122~126.
- 이광식, 유경권, 松井佳久. 1997. 배양액의 질산태질소농도가 토마토의 생육 및 무기원소 흡수에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 30:29~34.
- 이상은, 이춘수. 1994. 염류가 축적된 시설재배 토양에서 질소와 가리의 시비효과 및 양분수지. 한국토양비료학회지 27:78~84.
- 이용범. 2000a. 원예작물의 고품질 다수를 위한 기술적 과제와 대응 방안. 21세기 시설원예발전을 위한 전략 심포지엄. 한국온실작물연구소. pp. 87~101.
- 이용범. 2000b. 환경친화적 원예산업의 발전방향-생산시설분야. 원예과학기술지 18:539~550.
- 이용범, 노미영, 조영렬, 배종향. 1995. 토마토 양액재배시 비파괴 간이 질소영양 진단. 생물환경조절학회지 4:175~179.
- 이용환, 신용광, 황광남, 이경수. 1993. 비닐하우스 토양의 화학적 특성에 관한 연구. 한국토양비료학회지 26:236~240.
- 임재현, 이인복, 김홍림. 2001. 시설오이의 관비재배를 위한 토양용액과 엽병 즙액중 질산태 농도 기준 설정. 한국토양비료학회지 34:316~325.

- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. London. Academic Press. pp. 243~256.
- 노창우. 2002. 시설채소 관비농업 기술 확립연구. 충청북도농업기술원 음성시설농업시험장 대형공동연구사업 보고서. pp. 3~20.
- 농촌진흥청. 2000. 토양 및 식물체 분석법. pp. 103~146.
- 농림부. 2004. 2003 채소생산 실적. p. 57.
- 六本木 和夫. 2002. 원예작물의 관비재배 및 영양관리. pp. 5~26. 친환경 농업과 원자력 기술 심포지엄. 제주대학교 아열대원예산업연구센터.
- Pang, X. P., J. Letey and L. Wu. 1997. Irrigation quantity and uniformity and nitrogen application effects on crop yield and nitrogen leaching. Soil Sci. Soc. Amer. J. 61:257~261.
- 박진명, 노희명. 1996. 근권온도환경이 사과나무의 생육 및 엽중 무기성분 함량에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 29:378~382.
- 박권우. 1998. 과채류의 관비재배 및 영양관리. pp. 49~60. 환경친화형 관비 및 양액재배기술 심포지엄. 한국양액재배연구회.
- 박권우. 1999. 시설원예 토양관리기술의 발전방향. 원예과학기술지 17:803~805.
- 박권우, 김영식. 1998. 양액재배. 아카데미서적. pp. 88~95.
- 박권우, 이용범. 2001. 21세기를 대비한 한국 수경재배의 발전 방향. pp. 3~23. 제3회 한국수경재배연구회 국제심포지엄.
- Pulupol, L. U., M. H. Behboudian, and K. J. Fisher. 1996. Growth, yield, and postharvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation. HortScience 31:926~929.

- 노희명. 2000. 과수원 생산성 지속을 위한 토양수분제어 관리 . pp.29~50. 친환경 농업과 원자력기술 심포지엄. 제주대학교 아열대원예 산업연구센터.
- Roppingi, K. 1998. Study on nutrient management in vegetable greenhouse soil by real time diagnosis. Japan. J. Soil Sci. Plant Nutr. 69:235~238.
- Roppongi. K. and H. Yamazaki. 1998. Real-time diagnosis of soil solution of cucumber in protected cultivation using compact nitrate ion-meter. JARQ 32(1):15~21.
- Ruth, G. N. and U. Kafkafi. 1985. The effect of root temperature and nitrate ammonium ratio on strawberry plants. II. Nitrogen uptake, mineral ions, and carboxylate concentrations. Agron. J. 77:835~840.
- 류복희, 문광덕, 김성달, 손태화. 1990. 토마토 과실의 성숙중 경도 및 무기성분의 변화. 한국영양식량학회지 19:115~120.
- 류관식. 1994. 토양수분 조건에 따른 pH 변화와 무관수 나지구의 양분이동. 한국토양비료학회지 27:263~268.
- 류관식, 류순호, 송관철. 1991. 관수에 의한 시비양분의 토양중 이동에 관한 연구. 2. 토양수분 조건과 Cl와 P의 이동. 한국토양비료학회지 24:159~164.
- 류관식, 류순호, 송관철. 1994. 관수에 의한 시비양분의 토양중 이동에 관한 연구. 3. 토양수분 조건에 따른 질소의 이동. 한국토양비료학회지 27:232~237.

- 류순호, 정강호, 노희명, 최우정. 2001. 점적관수시 관비와 표면시비된 중질소 표지요소의 행동비교. 한국토양비료학회지 34:292~301.
- Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1992. Plant physiology. Belmont, California. Wadsworth Publishing Co., California. p. 64.
- 서범석. 1999. 시설과채류의 연작장해 회피와 고품질 안정생산을 위한 토양 양액재배시스템 및 재배기술체계 확립. 농림부 농림수산기술관리센터. pp. 5~16.
- 서범석. 2005. 친환경 시설채소 생산과 상품화 방안. 생물환경조절학회지 학술대회 발표논문집 14:44~78.
- Snyder, R.G. 1993. Injector planner - A spreadsheet approach to fertilization management for greenhouse tomatoes. Mississippi Agri. and Forestry Experiment Station Research Bulletin 1003: 1~8.
- 엄미정, 한수곤, 김갑철, 문영훈, 최정식. 2001. 시설가지 연작재배토양 이화학성이 생리장해과 발생에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 34:192~196.
- 유성오, 배종향. 2004. 관비재배에서 토양수분이 착색단고추의 생육과 품질에 미치는 영향. 생물환경조절학회지 13:102~106.
- 윤형권, 김일섭, 유근창. 1998. 엽채류의 사경재배시 첨가배지가 생육 및 양분흡수특성에 미치는 영향. 한국원예학회지 39:497~503.