Journal of Bio-Environment Control, 16(3):194-198, (2007)

칼륨 엽면처리가 시설토마토 과실의 상품성 향상에 미치는 영향

강남준[1]* · 이재한[2] · 권준국[3] · 최영하[1]
[1]원예연구소 시설원예시험장, [2]원예연구소 원예기획조정과, [3]원예연구소 원예기술지원과

Effects of Foliar Application of Potassium Phosphate (KH_2PO_4) on the Enhancement of Marketable Fruit Yields of Fresh Tomato

Nam Jun Kang[1]*, Jae Han Lee[2], Joon Kook Kwon[3], and Young Hah Choi[1]
[1]Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, RDA, Busan 618-800, Korea
[2]Research Planning and Coordination Division, NHRI, RDA, Suwon 441-100, Korea
[3]Horticultural Technology Transfer Division, NHRI, RDA, Suwon 441-100, Korea

Abstract. This study was performed to determine the optimum concentration of potassium for the foliar application, and its application stage to increase the production of marketable sized tomato. For this purpose, 0.25, 0.5 and 1.0 percent of potassium phosphate (KH_2PO_4) were applied in the leaves of tomatoes by the stage of flowering, fruit setting and fruit development. The control plants were applied with distilled water. The results showed that foliar application with 0.5 percent of potassium phosphate increased the proportion of medium sized fruit of the products by 29.5 percent compared to the controlled plants, which is highest in the treatments. The foliar application of 0.5 percent of potassium phosphate at the fruit setting stage increased the yield of marketable sized fruit by 5.9 percent compared to the controlled plants.

Key words : foliar application, invertase, marketable fruit, potassium phosphate, tomato

*Corresponding author

서 언

최근 토마토가 건강식품으로 인식되면서 재배면적과 소비량은 지속적으로 증가하여 2006년에는 6,338 ha의 재배면적에서 421.592톤을 생산하여 2001년에 비해 약 2배 증가하였다. 그러나 이러한 양적인 증가에도 불구하고 품질은 크게 향상되지 않아 주산지와 상품성에 따른 가격 차이가 더욱 커지고 있는 실정이다.

토마토 과실의 품질에는 색깔, 형태 및 크기 등의 외적인 요인과 당도, 산도 및 비타민 등의 내적인 요인이 복합적으로 관여하지만(Adams 등, 2001), 당과 유기산 함량이 가장 중요한 요인으로 작용한다(Schuch, 1993). 또한 과실의 크기는 상품성과 수량을 결정짓는 중요한 요인으로 작용하기 때문에 과실의 발육에 관여하는 환경적, 영양학적, 동화산물의 이용 능력 측면에서 많은 연구가 진행되었다(Adams 등, 2001; Bussieres, 1993; Grange와 Andrews, 1994; Ho 등, 1987). 특히 우리나라의 시장에서는 토마토 과실의 상품성은 당이나 유기산 함량 등과 같은 내적인 요인에 의한 품질보다는 과실의 크기에 따라 구분하고 있기 때문에 상품성을 높이기 위해서는 과실의 크기를 균일하게 생산할 수 있는 재배기술이 필요하다. 우리나라에서 재배되는 완숙계 토마토는 무한생장형으로 지속적으로 화방이 분화하는데, 한 화방에 최소한 4개 이상의 꽃이 피어 과실이 된다. 그러나 저온기에 과실의 착과와 비대가 이루어지는 반촉성재배 작형에서는 같은 화방에서도 개화시기의 차이가 커 과실의 숙기가 다르고 과실의 크기가 균일하지 못하는 문제점이 있다. 토마토 과실의 크기는 광합성을 통하여 잎에 축적된 동화산물이 전류되는 량과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다(Lin 등, 2004). 따라서 과실의 크기를 균일하게 하기 위한 재배적인 방법으로 잎에 축적된 동화산물을 한 화방에 착과된 여러 개의 과실에 균등하게 전류시킬 수 있는 기술을 확립하는 것이 필요하다.

식물체내에서 칼륨의 생리적 역할은 여러 가지 대사작용에 관여하는 효소의 활성화, 단백질 합성, 삼투조절, 광합성 효율증진 및 동화산물의 전류 촉진 등으로 알려져 있다(Fageria 등, 1997; Dorais 등, 2001). 토마토는 생육기간 중에 다른 양분보다 칼륨을 많이 흡수하는데(Voogt와 Sonneveld, 1997), 칼륨의 흡수가 부족할 경우 생육뿐만 아니라 착과와 과실의 품질이 저하된다(Mengel과 Kirkby, 1987). 따라서 작물을 재배할 때 칼륨을 적당하게 시용하면 광합성 효율을 증가시킬 뿐만 아니라 동화산물의 전류를 촉진시켜 수량증가와 더불어 과실의 품질을 향상시킬 수 있다(Chapagain과 Wiesman, 2004).

본 실험은 시설토마토 과실의 균일화와 상품성 향상에 미치는 칼륨의 엽면처리 효과를 검정하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 시험은 원예연구소 시설원예시험장에 있는 200 m^2 크기의 단동형 플라스틱 하우스에서 토마토 '서건'(사까다 종묘) 품종을 사용하여 2005년과 2006년에 걸쳐 2년간 수행하였다.

칼륨 엽면처리 농도 선발시험은 2005년 1월 26일에 70 cm×25 cm 재식거리로 2열로 정식한 후 점적호스를 설치하고 흑색비닐로 멀칭 하였다. 재배방법은 3화방까지 재배하여 적심하였고 수분은 나투벌(Koppert, Netherlands)을 이용하여 화방 당 3~5개의 과실을 착과시켰다. 엽면처리용 칼륨은 아인산 칼리를 이용하였는데, 처리농도를 선발하고자 0.25%, 0.5% 및 1.0%를 각 화방의 개화기에 엽면처리 하였고 대조 처리구로는 증류수를 처리하였다. 엽면처리는 각 화방의 상위 엽과 하위 엽을 중심으로 주당 약 50 mL을 살포하였다.

칼륨 엽면처리 시기 구명시험은 2006년 1월 26일에 70 cm×25 cm 재식거리로 2열로 정식한 후 점적호스를 설치하고 흑색비닐로 멀칭 하였다. 재배방법은 각 화방 당 4개의 과실을 착과시켜 3단 재배를 하였으며 나투벌(Koppert, Netherlands)을 이용하여 수정시켰다. 처리 시기는 무처리 대비 개화기, 착과기 및 비대기로 구분하여 엽면처리 하였다. 엽면처리 농도는 1년차에서 선발한 0.5% 아인산 칼리 농도로 각 화방의 상위 엽과 하위 엽을 중심으로 주당 약 50 mL을 처리하였다.

재배토양은 사질양토였으며 토양수분은 토양수분장력에 기초하여 −15 kPa로 조절하였는데, 토양수분은 관수자동제어기인 Rich 5330(Agronet, Korea)을 이용하여 제어하였고 토양수분장력은 전자식 토양수분장력센서(SKM850C2, SDEC)를 이용하였다. 시험구 배치는 완전임의배치 3반복으로 하여 반복 당 20주를 조사하였다. 과실 특성과 수량을 화방별로 분리하여 조사하였고 수용성 고형물 함량은 굴절당도계(ATC-20E, Atago, Japan)를 이용하여 조사하였다.

효소의 활성을 측정하기 위한 수용성 단백질은 pH가 8.0으로 조정된 100 mM Tris 완충용액으로 추출하였는데, 막자사발을 이용하여 과실 5 g당 3 mL의 완충용액으로 마쇄한 후 4°C에서 30분간 원심분리시켰다. 원심분리 후 상징액을 회수하여 효소활성을 측정하기 위한 시료로 사용하였다. 단백질 함량은 albumin bovine을 표준단백질로 사용하여 Bradford(1976) 방법으로 590 nm에서 정량하였다. Invertase의 활성은 10 mM sucrose, 50 mM Hepes/KOH(pH 7.5) 및 단백질 추출액을 혼합하여 25°C에서 15분간 반응시켰다. 반응물 100 mL에 30% KOH 100 mL를 혼합하여 반응을 중단시킨 후 반응물속에 존재하는 hexose를 파괴시키고자 100°C에서 10분간 처리하였다(Vassey, 1989). 처리 후 100 mL 반응물과 2 mL의 anthrone 시약(76 mL H_2SO_4, 30 mL H_2O, 150 mg anthrone, v/v/w)을 첨가하여 40°C에서 20분간 반응 시킨 후 620 nm에서 활성을 측정하였다. 효소 활성을 측정하기 위한 대조구는 100°C에서 2분간 끓인 단백질 추출액을 사용하였다.

결과 및 고찰

칼륨 엽면처리 농도에 따른 토마토 과실의 수량과 과실 크기는 Table 1과 같다. 대조구의 수량은 주당 4,895 g으로 평균과중은 371 g이였다. 전반적으로 평균과중은 대조구와 칼륨 엽면처리구 간에 차이가 없었지만, 주당 수량은 증가하는 경향을 보였는데, 이는 착과수에 따른 차이로 생각되었다. 따라서 칼륨 엽면처리 효과를 정밀하게 검정하기 위해서는 착과수를 동일하게 조절할 필요가 있었다. 그러나 전체 수량과는 관계없이 칼륨 엽면처리 효과는 과실의 크기에서 뚜렷한 차이를 보였는데, 대조구에서는 과실무게가 200 g 이하

Table 1. Effect of foliar application of potassium phosphate on the yield and fruit size in the fresh tomatoes.

KH_2PO_4 (%)	Yield (g/plant)	Mean Fruit weight (g)	Fruit size (%)		
			Large (>400 g)	Medium (400~200 g)	Small (<200 g)
0	4,895 a[z]	371±124	16.2	46.0	37.8
0.25	5,332 b	368±110	11.5	53.9	34.6
0.50	5,470 b	373±92	6.8	75.5	17.7
1.00	5,293 b	371±96	7.0	72.9	20.1

[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p=0.05$.

Table 2. Effects of foliar application of 0.5% potassium phosphate on the marketable fruit in the fresh tomato.

Stage of foliar application	Marketable fruit (%)			Unmarketable fruit (%)	
	Large (>400 g)	Medium (400~200 g)	Total	Small (<200 g)	Green shoulder fruit
Control	17.2 a[z]	53.9 a	71.1 a	15.0 a	13.9 a
Flowering	15.0 a	59.4 b	74.4 ab	12.3 b	13.3 a
Fruit setting	12.6 b	64.4 c	77.0 c	10.2 b	12.8 b
Fruit development	11.3 b	60.7 b	72.0 ab	13.6 ab	14.4 a

[z] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p=0.05$.

인 소과가 37.8%, 200 g에서 400 g 사이의 중과가 46%, 400 g 이상인 대과의 비율이 16.2%로 나타나 상품성이 있는 중과의 비율이 낮았다. 그러나 칼륨 엽면처리구에서는 전반적으로 대과와 소과의 비율은 감소한 반면 중과의 비율이 증가하였는데, 0.5% 칼륨 엽면처리구에서 중과의 비율이 75.5%로 가장 높아 칼륨 엽면처리 농도로는 0.5%가 적당한 것으로 판단되었다. '서건' 품종의 특성은 대과종으로 평균과실의 무게가 300~350 g인데 비하면 대조구의 경우 200 g 이하의 소과와 400 g 이상의 대과 비율이 높은 것은 화방 내에서 먼저 착과된 과실과 늦게 착과된 과실 간에 크기 차이가 심하여 과실의 상품성에 문제가 있음을 알 수 있었다.

칼륨 엽면처리 농도선발에서 중과의 비율이 가장 높았던 0.5% 칼륨 용액을 과실의 발육단계별로 구분하여 엽면처리한 후 과실의 상품성에 미치는 효과를 분석한 결과는 Table 2와 같다. 과실무게가 200 g 이하인 과실과 착색불량과를 제외한 중과 이상의 과실을 상품과로 분류한 결과, 대조구에서는 과실무게가 400 g 이상인 대과가 17.2%, 200 g에서 400 g 사이의 중과가 53.9%로 전체적인 상품과율은 71.1%로 나타났다. 칼륨 0.5% 용액을 개화기와 비대기에 처리한 구에서의 상품과율은 각각 74.4%와 72.0%로 증가하는 경향을 보였지만, 대조구와는 통계적 유의성은 없었다. 그러나 0.5% 칼륨 용액을 착과기에 엽면처리한 구에서는 상품과율이 77.0%로 대조구보다 5.9% 증가하였다. 이러한 결과는 과실이 고르게 커서 대과와 소과의 비율이 대조구보다 감소한 반면 중과의 비율이 증가하였기 때문이었다. 이와 같이 칼륨 엽면처리에 의한 과실의 균일화는 동화산물을 공급하는 잎의 능력과 탄수화물 전류와 관련된 효소의 활성화가 영향을 미친 것으로 사료된다(Zhao 등, 2001). 토마토 과실은 한 화방당 4개 이상의 과실이 착과되어 각 화방의 상위엽과 하위엽에서 전류된 동화산물에 의해서 성숙되는데, 착과 후 일수가 지나면 각종 미량원소와 칼륨의 결핍으로 동화산물을 전류하는 잎의 능력은 저하되어 나중에 착과된 과실은 품질 저하뿐만 아니라 과실의 크기에도 영향을 미친다(Williams와 Kafkafi, 1998). 칼륨 엽면처리에 의해서 상품과율이 증가한 본 연구의 결과는 칼륨을 처리하면 각종 미량원소와 칼륨의 결핍을 방지하고(Williams와 Kafkafi, 1998), 광합성 효율을 증가시키며(Dekov와 Velichkov, 1992) 동화산물의 전류를 촉진시켜(Hartz 등, 1999) 과실의 상품성을 향상 시킨다는 결과와 일치하였다.

칼리 엽면처리 농도선발에서 중과의 비율이 가장 높았던 0.5% 칼리 용액을 과실의 발육단계별로 구분하여 엽면처리한 후 평균과중, 수용성 고형물 함량 및 수량을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 전반적으로 평균과중과 수용성 고형물 함량은 처리시기에 관계없이 대조구와 처리구 간에는 차이가 없었다. 전체 수량은

Table 3. Effects of foliar application of potassium phosphate on the fruit weight, soluble solid contents and yield in the fresh tomatoes.

Stage of foliar application	Fruit weight (g)	Soluble solid (°Brix)	Yield (kg/10a)	
			Total	Marketable
Control	327±112	5.5±0.5	13,208 a[z]	9,391 (100) a
Flowering	328±101	5.4±0.5	13,248 a	9,856 (105) a
Fruit setting	332±89	5.6±0.7	13,410 a	10,325 (110) b
Fruit development	331±95	5.6±0.6	13,370 a	9,626 (103) a

[z] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p=0.05$.

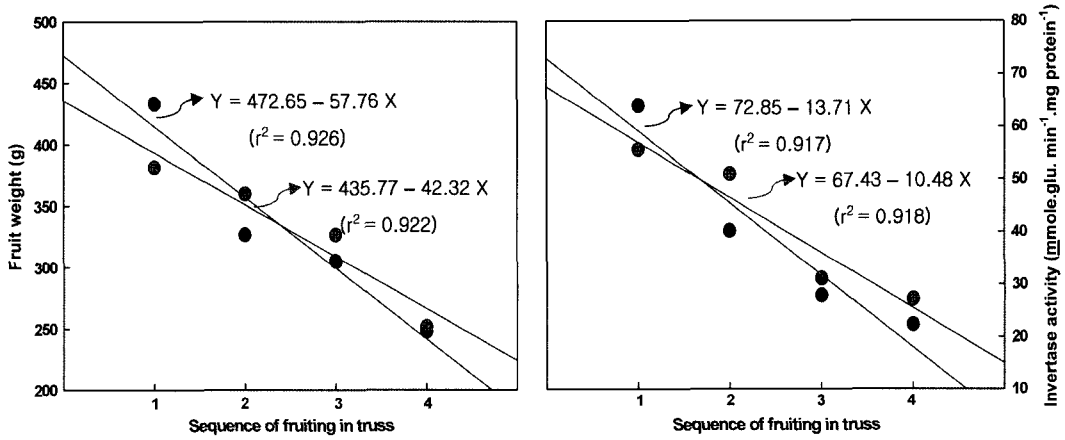

Fig. 1. The relationship between fruit weight or invertase activity and sequence of fruiting in truss in fresh tomato as influenced by foliar application of distilled water (●) or 0.5% potassium phosphate (●).

처리 간에 차이가 인정되지 않았지만, 착과기에 0.5% 칼리를 엽면처리하면 상품과율이 대조구보다 5.9%가 증가하여 상품수량은 10% 증가하였다.

칼륨 엽면처리시 상품과율이 증가하는 요인을 분석한 결과, 동일 화방 내 과실의 착과순서와 과실 무게는 부의 상관을 보였다(Fig. 1). 대조구의 경우 같은 화방 내에서 과실이 착과되는 순서에 따라 과실무게는 57.8 g씩 감소하여 첫 번째 착과한 1번 과실이 414.9 g이었고 마지막에 착과시킨 4번 과실이 241.6 g으로 나타나 1번 과실과 4번 과실과의 무게 차이는 173.3 g이었다. 그러나 0.5% 칼리 엽면처리구에서는 42.3g이 감소하여 첫 번째 착과시킨 1번 과실이 393.5 g이었고 4번 과실이 266.5 g으로 1번 과실과 4번 과실의 무게 차이는 127.0 g의 차이를 보였다. 이러한 결과로 보아 칼륨 엽면처리는 수량보다는 동일 화방내의 착과순서에 따른 과실의 크기를 균일하게 하는데 효과가 있는 것으로 사료되었다. 또한 토마토 과실의 주된 전류당인 sucrose를 glucose와 fructose로 가수분해시키는 invertase 효소의 활성에서도 뚜렷한 차이를 보였는데, 과실의 착과순서와 invertase 활성과의 상관관계도 부의 상관을 보였다(Fig. 1). 과실의 성숙 단계에서 탄수화물의 이용은 invertase나 sucrose synthase와 같은 탄수화물 대사작용과 관련된 효소의 활성이 큰 영향을 미치는데, 이러한 효소의 활성은 동화산물을 전류하는 잎의 능력과 기질로 이용하는 동화산물의 양에 따라 차이가 심하며 과실의 품질은 잎에서 전류된 동화산물의 양과 이러한 동화산물을 이용하는데 관여하는 여러 가지 효소의 활성 차이에 의해서 결정된다(Zhao 등, 2001). 토마토의 경우 같은 화방내에서 착과순서가 늦을수록 과실의 invertase 활성은 낮아져 품질이 저하되는데, 칼륨을 엽면처리하면 invertase의 활성을 증가시켜 상품성을 향상시킬 수 있었다.

과실의 품질은 유전적 형질, 환경요인 및 재배 기술 등과 같은 여러 가지 요인의 상호작용으로 결정되는데 (Dorais 등, 2001), 재배 기술 측면에서는 칼리의 시용이 품질 향상에 영향을 미친다(Francisco와 Marcelis, 2004). 칼륨은 식물체가 요구하는 양보다 흡수량이 낮을 때, 잎에 존재하던 칼륨은 과실로 이동되므로 생

육불량뿐만 아니라 과실의 착과와 품질이 감소하는 것으로 알려져 있다(Besford와 Maw, 1975; Mengel과 Kirkby, 1987). 또한 칼륨은 엽록체의 광합성 효율 증진(Dekov와 Velichkov, 1992)과 체관부를 통하여 광합성 산물의 전류를 촉진시켜(Mengel, 1980) 과실의 품질과 수량을 증가시킨다고 하였다(Hartz 등, 1999). 본 시험 결과, 대조구에 비해 칼륨 엽면처리구에서 수량은 증가하지 않았지만 대과나 소과의 비율이 낮은 반면 중과의 비율이 높아져 상품과율이 증가하였다.

적 요

시설 토마토 과실의 상품성을 향상시키기 위하여 칼륨 엽면처리 농도 및 시기를 분석한 결과, 0.5% 칼륨 엽면처리구에서 과중이 200~400 g인 상품과 비율이 75.5%로 대조구에 비해 29.5% 증가하였다. 처리시기는 착과기가 가장 좋았는데, 착과기에 0.5% 칼륨를 엽면처리하면 상품과 비율이 대조구에 비해 5.9% 증가하였고 상품수량은 10% 증가하였다.

주제어 : 엽면처리, invertase, 상품과, 칼륨, 토마토

인 용 문 헌

1. Adams, S.R., V.M. Valdes, C.R.J. Cave, and J.S. Fenlon. 2001. The impact of changing light levels and fruit load on the pattern of tomato yields. J. Hort. Sci. Biotech. 76:368-373.
2. Besford, R.T. and G.A. Maw. 1975. Effects of potassium nutrition on tomato plant growth and fruit development. Plant Sci. 42:395-412.
3. Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72:248-254.
4. Bussieres, P. 1993. Potential dry matter and water import rates in the tomato fruit in relationship to fruit size. Ann. Bot. 72:63-72.
5. Chapagain, B.P. and Z. Wiesman. 2004. Effect of Nutri-Vant-Peak foliar spray on plant development, yield, and fruit quality in greenhouse tomatoes. Sci. Hort. 102.
6. Dekov, I. and D. Velichkov. 1992. Ultrastructural and functional changes in the chloroplasts of maize plants at various levels of potassium nutrient and water stress. Plant Physiol. 18:3-9.
7. Dorais, M., A.P. Papadoulos, and A. Gosselin. 2001. Greenhouse tomato fruit quality. Hort. Rev. 26:262-319.
8. Fageria, N.K., V.C. Baligar, and C.A. Jones. 1997. Growth and mineral nutrition of field crops. Marcel Dekker, New York.
9. Francisco, M. del A. and Leo F. M. Marcelis. 2004. Regulation of K uptake, water uptake, and growth of tomato during K starvation and recovery. Sci. Hort. 100:83-101.
10. Grange, R.I. and J. Andrews. 1994. Expansion rate of young tomato fruit growing on plants at positive water potential. Plant Cell Envir. 17:181-187.
11. Hartz, H.K., G. Miyao, and R.J. Mullen. 1999. Potassium requirements for maximum yield and fruit quality of processing tomato. J. Am. Soc. Hort. Sci. 124:199-204.
12. Ho, L.C., R.I. Grange, and A.J. Picken. 1987. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. Plant Cell Envir. 10:157-162.
13. Lin, D., H. Danfeng, and W. Shiping. 2004. Effects of potassium levels on fruit quality of muskmelon in soilless medium culture. Sci. Hort. 102:53-60.
14. Mengel, K. 1980. Effect of potassium on the assimilate conduction to storage tissue. Ber.Dtsch. Bot. Ges. 93:353-362.
15. Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Bern.
16. Schuch, W. 1993. Improving tomato fruit quality through biotechnology. ATL Press, London. p. 39-43.
17. Vassey, T.L. 1989. Light/dark profiles of sucrose phosphate synthase, sucrose synthase, and acid invertase in leaves of sugar beets. Plant Physiol. 89:347-351.
18. Voogt, W. and C. Sonneveld. 1997. Nutrient management in closed growing systems for greenhouse production. p. 83-102. In: Goto, E. (Ed.), Plant production in closed ecosystem. Academic Publishers, Dordrecht.
19. Williams, L. and U. Kafkafi. 1998. Intake and translocation of potassium and phosphate by tomatoes by late sprays of KH_2PO_4 (MKP). p. 85-90. In: El-Fouly, M.M., F.E. Abdalla, A.A. Abdel-Maguid (Eds.), Proceedings of the symposium on foliar fertilization: A technique to improve production and decrease pollution, Cario, Egypt, 10-14 December 1995, NRC.
20. Zhao, Z.Z., S.L. Zhang, C.J. Xu, K.S. Chen, and S.T. Liu. 2001. Roles of sucrose-metabolizing enzymes in accumulation of sugars in Sastsuma mandarin fruit. Acta Hort. Sinica 28:112-118.