

관수량 조절이 시설 토마토 과실의 당도와 수량에 미치는 영향

강남준* · 조명환 · 권준국 · 이한철 · 최영하
원예연구소 시설원예시험장

Effects of Deficit Irrigation on the Total Soluble Solids and Fruit Yields of Fresh Tomato

Nam Jun Kang*, Myeong Whan Cho, Joon Kook Kweon,
Han Chul Rhee, and Young Hah Choi

Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, RDA, Busan 618-800, Korea

Abstract. Effects of deficit irrigation by different soil moisture-based water potential on total soluble solids and fruit yields in fresh tomato were investigated. Amount of irrigation was saved about 11%, 25% and 41% at -20 kPa, -30 kPa and -40 kPa treatment compared to the -15 kPa treatment as a standard practice, respectively. Deficit irrigation with -30 kPa and -40 kPa treatment significantly increased total soluble solids by 11% and 24% at first truss compared to the -15 kPa treatment, with no significant loss of yield, respectively. However, deficit irrigation with -30 kPa and -40 kPa treatment significantly increased total soluble solids at second and third truss, but resulted in substantial yield loss compared to the standard practice. Total fruit yields at -30 kPa and -40 kPa treatment was decreased by 16.5% and 25.1% compared to the -15 kPa treatment. However, marketable fruits based on fruit size (150~250g) was increased by 27.8% at -30 kPa treatment compared to the -15 kPa treatment.

Key words : deficit irrigation, fruit yield, tomato, total soluble solids, water potential

*Corresponding author

서 언

우리나라 토마토 시설 재배 면적과 생산량은 2005년 현재 약 6,493ha와 427,218톤으로 2001년 대비 각각 101.8%와 113.3% 증가하였다. 이는 토마토가 건강식품으로 인식됨에 따라 소비량이 지속적으로 증가한데 기인하는 바가 크다. 그러나 재배면적과 생산량의 증가에도 불구하고 품질은 크게 향상되지 않아 상품성에 따른 가격차이는 심화되고 있는 실정이다.

토마토 과실의 품질에는 색깔, 형태, 크기 및 경도 등의 외적인 요인과 당도, 산도 및 비타민 등의 내적인 요인이 복합적으로 관여하지만, 과실의 당도가 가장 중요한 요인으로 작용한다(Damon 등, 1988). 토마토 과실의 당도는 품종에 따라 유전적으로 상당한 차이가 있지만, 재배적인 측면에서 과실의 비대기 이후에 수분 흡수를 억제시키면 증가된다(Nuruddin 등, 2003). 일반적으로 앞에서 과실로 전류되는 당은 주로 자당이지

만, 과실의 당도에 영향을 미치는 것은 과당과 포도당으로서 전체 가용성 고형물의 53%를 차지한다고 하였다(Ho, 1979). 그러나 Mitchell 등(1991b)은 수분 스트레스에 의해 토마토 과실의 당도는 과당이나 포도당보다는 자당의 축적에 의해서 증가된다고 하였는데, 양액재배에서 NaCl을 첨가하거나 해수 공급으로 수분삼투압을 조절하여 수분흡수를 억제시킴으로써 과실의 당도를 향상시키기도 하였고(Mitchell 등, 1991a), 토양재배에서는 수확하기 전에 일정기간 동안 관수를 중단하여 당도를 향상시키기도 하였다(Pulupoi 등, 1996). 그러나 수분삼투압을 조절하거나 관수량을 줄이면 당도가 증가하여 품질은 향상되지만 수량이 감소하는데, 삼투조절물질로서 NaCl이나 해수를 처리하는 것 보다 관수량을 줄이는 방법이 수량 감소가 더 심한 것으로 보고되었다(Mitchell 등, 1991b; Pulupoi 등, 1996; ZegbeDominguez 등, 2003). 토마토 시설재배 시 당도를 향상시키기 위해서 NaCl이나 해수와 같은 삼투

조절 물질을 사용하면 염류집적 등의 여러 가지 문제점이 있는 반면, 관수량을 줄이면 물 소비를 줄여 생산비의 감소뿐만 아니라 지하수의 오염원이 되는 양분이나 합성농약의 용탈을 줄일 수 있으므로(Postel, 2000) 적용 가능성을 검토해 볼 필요가 있다.

가공용 토마토에서는 품질을 향상시키기 위해서 수확기 전에 관수를 중단하거나 줄이는 재배법이 일반화되어 있지만, 무한 성장형인 생식용 토마토에서는 이러한 연구가 거의 이루어지지 않았다. 최근 일부 시설 재배단지에서는 품질에 따른 가격차이가 크기 때문에 관수량을 줄이거나 NaCl을 처리하여 고당도 토마토를 브랜드화하고 있으나 재배기술이 확립되지 않아 생산성이 매우 낮은 실정이다.

따라서 본 시험은 토마토 시설 재배 시 관수량 조절에 의한 과실의 당도 증가와 수량에 미치는 영향을 분석하여 고품질 토마토 생산을 위한 토양수분 제어와 관련된 재배기술을 확립하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 시험은 원예연구소 시설원예시험장에 있는 200m² 크기의 단동형 플라스틱 하우스에서 수행하였다. 토마토 하우스채린지(Takii Seed, Japan) 품종을 2006년 2월 17일 70cm×25cm 재식거리로 격리상(300cm×100cm×35cm, 길이×너비×높이)에 2열로 정식한 후 점적호스를 설치하고 흑색비닐로 멀칭하였다(Fig. 1). 토마토는 3화방까지 재배하여 적심하였고 수분은 나투별(Koppert, Netherlands)을 이용하여 착과시켰으며 화방당 4개의 과실을 남기고 적과하였다.



Fig. 1. View of experimental field in this study. A tensiometer was installed at a middle position between drip lines.

재배지의 토양은 사질양토였으며 관수량은 토양수분장력에 기초하여 조절하였는데, -15kPa 처리를 대조구로 하고 각각 -20kPa, -30kPa 및 -40kPa로 처리하였다. 토양수분은 관수자동제어기인 Rich 5330(Agronet, Korea)을 이용하여 제어하였고 토양수분장력은 전자식 토양수분장력센서(SKM850C2, SDEC)를 이용하였다. 정식 후 1화방 과실 착과기까지는 모든 처리에서 -15kPa를 기준으로 관수하였고, 제 1화방 과실의 비대기인 2006년 6월 5일부터 3화방 마지막 수확기인 2006년 7월 10일까지 처리별로 달리하여 관수하였다. 관수량은 각 처리별로 유량계(Ultratech, Korea)를 장착하여 관수된 양을 측정하였다. 시험구 배치는 완전임의 배치 3반복으로 하여 반복 당 20주를 공시하였다.

당도, 무게 및 건물률 등의 과실 특성과 수량을 화방별로 분리하여 조사하였다. 가용성 고형물 함량은 굴절당도계(ATC-20E, Atago, Japan)를 사용하여 측정하였고 건물률은 건조기(한백과학)를 이용하여 80°C에서 48시간 건조 후 측정하였다.

결과 및 고찰

Fig. 2는 1화방 과실의 비대기 이후부터 3화방 마지막 수확기까지의 처리별 공급된 관수량을 측정한 결과이다. 대조구인 -15kPa 처리에서 하루에 토마토 1주당 800mL가 공급되었는데, 대조구에 비해 -20kPa 처리에서 11%, -30kPa 처리에서 25%, -40kPa 처리에서는 41% 관수량이 감소하였다.

화방별 과실의 당도를 조사한 결과, 전반적으로 관수량을 줄이면 당도는 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3).

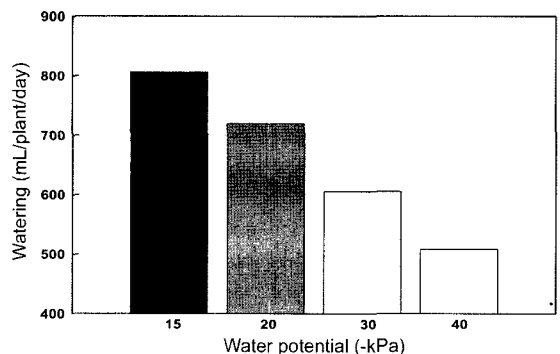


Fig. 2. Amount of irrigation applied to tomato plant at different soil moisture-based water potential.

관수량 조절이 시설 토마토 과실의 당도와 수량에 미치는 영향

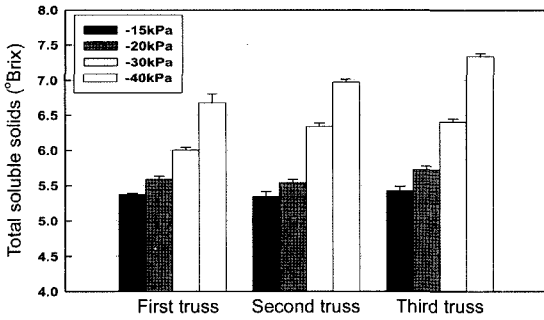


Fig. 3. Total soluble solids of fresh tomato as influenced by different soil moisture-based water potential.

대조구인 -15kPa 처리에서는 평균 당도가 5.4°Brix로 화방 간에 차이가 없었으며 -20kPa 처리에서는 대조구에 비해 0.2°Brix 정도 증가하는 경향을 보였지만, 화방 간에는 차이가 나타나지 않았다. 그러나 -30kPa 과 -40kPa 처리에서는 과실의 당도가 현저하게 증가하였고 화방 간의 차이도 인정되었다. 대조구인 -15kPa 처리에 비해 -30kPa 처리 시 과실의 당도는 1화방에서 11%, 2화방과 3화방에서 약 19% 증가하여 평균 당도가 6.2°Brix로 15% 증가하였고 -40kPa 처리 시 과실의 당도는 1화방에서 24%, 2화방에서 30%, 3화방에서 35% 증가하여 평균당도가 7.0°Brix로 30% 증가하였다.

Mitchell 등(1991a)은 가공용 토마토의 경우 수확기 전에 관수량을 줄이거나 해수를 공급하면 상품과실의 수량에 큰 영향을 주지 않으면서 당도를 증가시켜 품질을 향상시킬 수 있다고 하였는데, 관수량을 줄일 경우에는 과실의 수분 함량이 상대적으로 감소하기 때문에 고형물의 증가와 더불어 당도가 증가하고 해수 처리는 수분함량 감소 뿐만 아니라 이온농도의 증가로 환원당이 축적된다고 하였다.

관수량 조절에 따른 화방별 과실 무게를 조사한 결과는 Fig. 4와 같다. 과실 무게는 화방 간에 뚜렷한 차이를 보였는데, 1화방의 과실 무게는 모든 처리에서 235g 내외로 차이가 없었고 2화방에서는 대조구인 -15kPa와 -20kPa 처리 간에 차이가 없었으나 -30kPa과 -40kPa 처리에서는 각각 13%와 26% 감소하였다. 또한 3화방에서는 -15kPa 처리에 비해 -20kPa, -30kPa 및 -40kPa 처리에서 각각 5%, 31% 및 43% 감소하였다. 이와 같이 1화방에서 처리 간 과실무게에 큰 차이가 없었던 것은 수분 스트레스에 민감한 개화기와

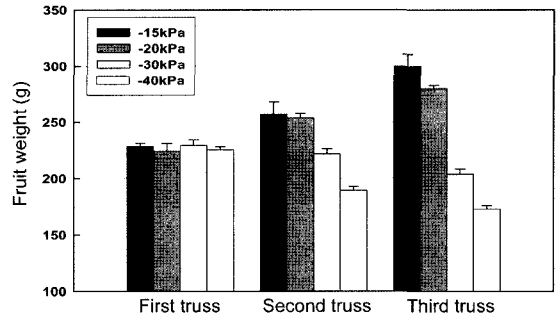


Fig. 4. Average fruit weight of fresh tomato as influenced by different soil moisture-based water potential.

착과기를 지나 비대기 이후에 관수량을 조절하였기 때문이며, 2화방과 3화방에서는 관수량을 줄이면(-30kPa와 -40kPa) 과실 무게가 급격하게 감소한 것은 관수량을 조절한 시기가 착과기 후기(2화방)와 착과기 초기(3화방)였기 때문으로 사료되었다.

관수량을 줄이거나 삼투조절물질을 이용하여 토양수분 흡수를 억제시키면 과실의 수분 함량 감소로 인하여 환원당이 축적되어 당도가 증가하지만 수량은 감소한다(Cahn 등, 2003; Lowengart-Aycicegi 등, 1999; Mitchell 등, 1991b). 본 시험의 결과에서도 관수량 조절에 의해 과실의 당도는 증가하나 수량이 감소하여 과실의 당도와 무게는 부의 상관을 보였다(Fig. 5).

토마토 과실의 상품성은 내적으로는 당도가 중요한 요인으로 작용하지만, 외적으로는 과실의 크기도 매우 중요하다. Table 1은 화방별로 관수량 처리에 따른 과실의 크기를 조사한 것으로 처리 간 또는 화방 간에 뚜렷한 차이를 보였다.

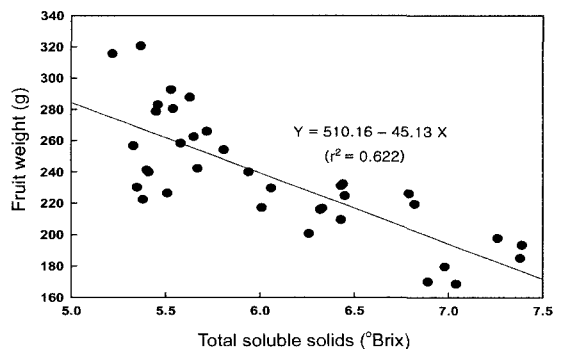


Fig. 5. The relationship between total soluble solids and fruit weight in fresh tomato as influenced by different soil moisture-based water potential.

Table 1. Percent of fruit size according to the fruit weight as influenced by different soil moisture-based water potential.

Truss	Fruit size (%)											
	-15 kPa			-20 kPa			-30 kPa			-40 kPa		
	S	M	L	S	M	L	S	M	L	S	M	L
First	7.5	63.3	29.2	8.3	60.0	31.7	3.3	72.5	24.2	2.1	78.3	19.6
Second	1.7	50.0	48.3	0.8	56.7	42.5	5.0	75.8	19.2	10.8	77.5	11.7
Third	0.0	31.7	68.3	0.0	36.7	63.3	6.7	80.0	13.3	31.7	66.7	1.6
Mean	3.1	48.3	48.6	3.1	51.1	45.8	5.0	76.1	18.9	14.9	74.2	10.9

*Fruit size was evaluated small (S), medium (M), and large (L) by below 150g, 150g between 250g, and over 250g in fruit weight, respectively.

관행 관수인 -15kPa 처리와 -20kPa 처리에서는 상위 화방일수록 소과(150g 이하) 수가 감소하고 대과(250g 이상) 수는 증가하지만, -30kPa와 -40kPa 처리에서는 소과 수가 증가하고 대과 수는 감소하였다. 특히 3화방의 경우, 대조구인 -15kPa 처리에서는 대과의 비율이 68.3%인 반면 -30kPa와 -40kPa 처리에서는 대과의 비율이 13.3%와 1.6%로 나타나 수량 감소의 주된 요인으로 작용한 것으로 사료되었다. 전체적으로 상품성이 있는 중과(150~250g) 수는 -30kPa 처리에서 가장 많았는데, -15kPa 처리보다 27.8% 많았다.

Fig. 6은 관수량 조절에 따른 과실의 건물물을 분석한 결과로 관수량을 줄일수록 과실의 건물물은 증가하는 경향을 보였다. 대조구인 -15kPa 처리의 경우 상위 화방일수록 건물물은 감소하였지만, -20kPa, -30kPa 및 -40kPa 처리에서는 상위 화방으로 갈수록 건물물은 증가하는 양상을 보였다. 관수량을 줄일수록 당도 증가와 더불어 건물물이 증가한 것은 상대적으로 과실의 수분 함량이 감소하였기 때문인데, 이는 수확기 전에 관수를 중단하면 당도가 높아지는 원인이 과실의

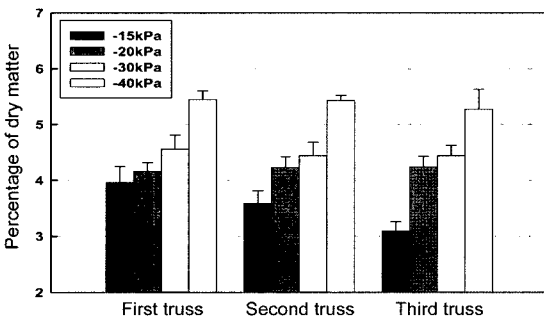


Fig. 6. Percentage of dry weight of fresh tomato as influenced by different soil moisture-based water potential.

Table 2. Fruit yields of fresh tomato as influenced by different soil moisture-based water potential.

Water potential (-kPa)	Yield(g/plant)			
	First truss	Second truss	Third truss	Total
15	912.7 a	1,027.3 a	1,198.0 a	3,138.0 a
20	896.7 a	1,014.7 a	1,121.3 a	3,032.7 a
30	916.7 a	887.3 b	816.0 b	2,620.0 b
40	901.3 a	756.7 c	691.3 c	2,349.3 c

*Values of the yield are means of 60 plants. Means in each column followed by different letters are significantly different at $P \leq 0.05$.

수분 함량 감소로 인한 탄수화물의 농도가 높기 때문이라는 결과와 일치하였다(Johnstone 등, 2005; Wang 등, 2005).

Table 2는 관수량 조절에 따른 화방별 수량을 조사한 결과이다. 제 1화방에서는 관수량에 따른 수량 차이는 없었지만, 2화방과 3화방에서는 관수량이 적을수록 수량이 감소하는 경향을 보였다. 관수량을 -15kPa로 조절한 대조구에 비해 -30kPa와 -40kPa 처리에서 2화방에서는 각각 13.6%와 26.4% 감소하였고, 3화방에서는 각각 31.9%와 42.3%의 수량 감소를 보였는데, 전체적으로 각각 16.5%와 25.1%가 감소하였다.

토마토는 개화기와 착과기에 수분 스트레스에 가장 민감하다고 하였는데(Helyes와 Varga, 1994), 1화방 비대기부터 관수량을 조절한 본 시험의 결과에서도 1화방에서는 수량에 큰 차이가 없었지만, 착과기 후기와 착과기 초기에 관수량 조절에 의해서 스트레스를 받은 2화방과 3화방에서는 수량 감소가 심하게 나타났다. 또한 May(1993)는 관수량을 줄이면 과실의 수분 함량 차이에 의해서 수량과 당도는 상반된 효과를 나타낸다는 보고와 일치하였다.

본 시험의 결과, 시설토마토 재배 시 관수량을 줄이면 과실의 당도는 증가되는 반면 수량은 감소하는데, 상위 화방으로 갈수록 수량감소가 심하였다. 그러나 -30kPa 처리의 경우, 전체적인 수량은 -15kPa 처리에 비해 적었지만, 당도 증가와 더불어 상품과율이 높았고 관수량을 25% 절감할 수 있어 고품질 토마토 생산을 위한 재배법으로 이용 가능성이 있었다. 따라서 과실의 당도와 수량 증가를 목적으로 하는 고품질 토마토 재배 시에 관수량을 줄이는 방법은 남부지방을 중심으로 이루어지고 있는 저단 밀식재배에 효과적인 것으로 판단되었다.

적 요

관수량 조절이 시설 토마토 과실의 당도 증진과 수량에 미치는 영향을 분석한 결과, 관수량은 관행 관수(-15kPa)에 비해 -20kPa, -30kPa 및 -40kPa 처리에서 각각 11%, 25% 및 41%가 절감되었다. 전반적으로 과실의 당도는 관수량을 줄임으로써 급격하게 증가한 반면 수량은 감소하는 경향을 보였으며 화방 간에 뚜렷한 차이가 있었다. 관행 관수에 비해 관수량을 줄이면 1화방에서는 수량 감소 없이 당도가 증가하였지만, 2화방과 3화방에서는 당도 증가와 더불어 수량 감소가 심하였다. 과실의 당도는 화방에 따라 처리 간 차이가 있었지만, 평균 당도는 관행관수 처리에서는 5.4°Brix인데 비해 -30kPa와 -40kPa 처리에서는 각각 6.2°Brix와 7.0°Brix로 15%와 30% 증가하였다. 총수량은 관행 관수 대비 -30kPa과 -40kPa 처리에서 각각 13.6%와 26.4% 감소하였지만, 과실크기를 기준으로 한 상품과는 -30kPa과 -40kPa 처리에서 각각 27.8%와 25.9% 증가하였다.

주제어 : 관수량, 당도, 수량, 토마토, 토양수분

인 용 문 헌

- Cahn, M.D., E.V. Herrero, B.R. Hanson, R.L. Synder, T.K. Hartz, and E.M. Miyao. 2003. Effects of irrigation cutoff on processing tomato fruit quality. *Acta Hort.* 613:75-80.
- Damon, S., J. Hewitt, M. Nieder, and A.B. Bennett. 1988. Sink metabolism in tomato fruit. II. Phloem unloading and sugar uptake. *Plant Physiol.* 87:731-736.
- Helyes, L. and G. Varga. 1994. Irrigation demand of tomato according to the results of three decades. *Acta Hort.* 376:323-328.
- Ho, L.C. 1979. Regulation of assimilate translocation between leaves and fruits in the tomato. *Ann. Bot.* 43:437-448.
- Johnstone, P.R., T.K. Hartz, M. LeStrange, J.J. Nunez, and E.M. Miyao. 2005. Managing fruit soluble solid with late-season deficit irrigation in drip-irrigated processing tomato production. *HortScience* 40(6):1857-1861.
- Lowengart-Aycicegi, A., H. Manor, R. Krieger, and G. Gera. 1999. Effects of irrigation scheduling on drip-irrigated processing tomatoes. *Acta Hort.* 487:513-518.
- May, D.M. 1993. Moisture stress to maximize processing tomato yield and quality. *Acta Hort.* 335:547-552.
- Mitchell, J.P., C. Shennan, and S.R. Grattan. 1991a. Developmental changes in tomato fruit composition in response to water deficit and salinity. *Physiol. Plant.* 83:177-185.
- Mitchell, J.P., C. Shennan, S.R. Grattan, and D.M. May. 1991b. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(2):215-221.
- Nuruddin, M.M., C.A. Madramootoo, and G.T. Dodds. 2003. Effects of water stress at different growth stages on greenhouse tomato yield and quality. *HortScience* 38(7):1389-1393.
- Pulupol, L.U., M. Hossein Behboudian, and K.J. Fisher. 1996. Growth, yield, and postharvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation. *HortScience* 31(6):926-929.
- Postel, S.L. 2000. Entering an era of water scarcity: The challenges ahead. *Ecol. Appl.* 10:941-948.
- Wang, Q., W. Klassen, Y. Li, and M. Codallo. 2005. Influence of cover crops and irrigation rates on tomato yields and quality in a subtropical region. *HortScience* 40(7):2125-2131.
- ZegbeDominguez, J.A., M.H. Behoudian, A. Lang, and B.E. Clothier. 2003. Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in Petopride processing tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). *Scientia Horticulturae* 98: 505-510.