

## 방울토마토의 수경재배시 외형형질의 비파괴적 추정

金 永 植

祥明女子大學校 産業大學 園藝學科

### Non-Destructive Estimation of External Quality of Cherry Tomato Fruits by Hydroponics

Kim, Young-Shik

Dept. of Horticulture, Sangmyung Women's Univ., Chonan 330-180, Korea

#### Summary

The external qualities of cherry tomato fruits (*Lycopersicon esculentum*) grown in circulating deep flow hydroponic culture were non-destructively estimated in 1992 under warm climate conditions and evaluated in 1993-1994 under cool season. The fruit size of 'Minicarlo' was by far the smallest compared to 'Chelseamini' and 'Popo'. There were high correlations between external qualities of fruits-lengthwise growth harmonized with widthwise growth. The volume and/or weight of fruit could be non-destructively estimated by length and width of fruit.  $Volume = 0.071 \times (length + width)^3 + 0.451$ ,  $Fresh\ weight = 0.072 \times (length + width)^3 + 0.542$ . These models were accurately evaluated by fruits harvested in 1994.

키 워 드 : *Lycopersicon esculentum*, 방울토마토, 성장분석, 비파괴적 추정, 수경재배

Key words : *Lycopersicon esculentum*, cherry tomato, growth analysis, non-destructive estimation, hydroponics

#### 緒 論

토마토를 장기간에 걸쳐 안정적이며, 지속적으로 소비자에게 공급하려면, 일반적으로 파종일을 달리하여 그 목적을 달성할 수 있으나, 다양한 지역에서 연중생산을 하려면 환경의 변화가 영양생장, 과실생육, 성숙속도 등에 어떻게 영향을 미치는지 알아야 한다. 식물의 분화발달에 관한 예측은 주로 적산온도에 대하여 이루어져 왔으며<sup>16)</sup>, 따라서 주어진 지역에서는 주어진 파종일에 대하여 일정 기간동안 수확이 가능하다는 예측이 일반

적으로 행해지고 있다. 적산온도의 산출은 대체적인 수확모델이며, 기준온도를 정하는 것에 연구자간에 논란이 많은 실정이다<sup>16)</sup>. 또한, 이 방법에서는 중요한 환경요인인 광도, 습도, 토양양액 등은 물론, 일일온도차 등에 대한 고려가 부족한 단점을 가진다. McAvoy 등<sup>8)</sup>에 의하면, 과실의 성숙에 필요한 일수는 광도에 따라 다르지만, 개화로부터 첫번째 과실의 성숙까지 걸리는 기간은 광도와는 관계가 없다. 과실의 형태는 유전적으로 정해져 있다고 볼 수 있으며, 어느 정도는 환경에 따른 변이를 보인다. 따라서 어떤 식물의 과실에 대한

본 연구는 1993년도 교내 일반 학술연구비에 의하여 수행되었음.

model이 주어진 환경에 따라 적용할 수 있는 편차가 설정되는데, 가급적 편차가 적으며 독립변수가 적은 범용성 model이 필요하다.

과실의 형질을 비파괴적으로 추정하는 방식은 파괴적 추정방식에 비해 연속적으로 측정이 가능하여 생육상태를 상세히 분석할 수 있고, 같은 과실에 대하여 반복하여 측정할 수 있으며, 과실의 소비를 막을 수 있는 장점을 지니고 있어 최근 생장에 관한 분석에 유용하게 사용되고 있는 방식이다. 비파괴적 추정은 간접 측정이기 때문에 식물의 경우에 변이가 많아서 100% 정확도를 기할 수 없다는 단점은 있으나 simulation에 의한 자동화 등에 적용할 수 있다는 장점을 가짐으로서 최적생장조건을 설정하는데 사용되며, 작물의 생육중에 나타나는 성장모델과의 편차를 이용하여 적극적인 재배환경제어에 활용할 수 있다. 또한, 성장모델은 다량의 과실을 자동선별 및 자동수확하는데 이용될 수 있다. 비파괴적 측정은 수동 및 자동측정이 있으며<sup>4)</sup>, 화상치리를 이용하기도 하는데<sup>1,17)</sup>, 식물의 외형에 관한 parameter를 이용하여 식물의 성장을 비파괴적으로 측정하고 있는 예는 몇가지 식물에서 보고되고 있다. 엽면적에 대한 비파괴적인 측정방법은 파괴적측정 방법에 비해 같은 부위를 연속적으로 측정할 수 있어 실험오차를 줄일 수 있다는 점에서 행해지고 있다<sup>11,12)</sup>. 줄기를 추정하는 방법으로, 김등<sup>7)</sup>은 아스파라가스의 순의 무게를 둘레와 길이로 추정하였다. Hole과 Barnes<sup>5)</sup>는 완두 과실의 건물중을 어린과실에 있어서는 과장의 2차회귀( $r > 0.99$ )로, 비대기의 과실에 대하여는 체적의 1차회귀( $r > 0.98$ )로 각각 추정했다. Gent<sup>2)</sup>는 콩의 건물중을 종자수×과장×과폭×(과실의 굵기)<sup>2)</sup>에 의해 추정했다. 오이는 주로 과장과 과폭으로 체적을 추정하고 있다<sup>9,13,14)</sup>. 대과용토마토에 대하여도 연구가 이루어진 바 있는데, Monselise등<sup>10)</sup>과 Grange등<sup>3)</sup>은 토마토과실의 성장을 growth function으로 설명하였고, Walker와 Ho<sup>15,18)</sup>는 토마토과실을 회전타원형으로 간주하여, 긴 직경과 짧은 직경으로 체적을 5%이내의 오차로 추정했다. 방울토마토에 대하여도 대과용 토마토와 같은 원리로 추정이 가능하겠으나 다른 원리의 사용도 검토할 필요가 있다.

본 연구는 방울토마토의 과실에 있어, 과장, 과

폭, 과중, 과실부피간에 존재하는 상관관계를 분석하여 이들 상호간에 비파괴적으로 추정이 가능한 fruit growth simulation을 작성하는 것을 목적으로 행해졌다.

## 材料 및 方法

실험은 상명여자대학교 원예학과 자동제어 유리온실에서 행하였으며, 1차실험은 1992년 3월23일부터 1992년 8월18일까지, 2차실험은 1993년 11월3일부터 1994년 5월7일까지 실시하였다. 1차실험에서는 국내 1품종('뽕뽕'), 일본 2품종('Minicarol', 'Chelseamini')의 3품종을 사용하였으며, 2차실험에서는 'Minicarol'만 사용하였다. 과종은 3월23일과 11월3일, 정식은 4월27일과 12월20일이었었다. 실험방법은 이전의 보고<sup>8)</sup>와 동일하였다. 배양액은 Yamazaki의 토마토용 배양액<sup>19)</sup>을 사용하였다. 각 품종의 종자 108개를 petridish에 각각 치상하여 30°C 항온기에서 24시간 최아시켰다. 다음날 암면mat(가로 3cm, 세로 3cm, 높이 3cm)에 파종한 후, 암면mat를 plastic연결pot에 넣고, black vinyl로 방수한 발포폴리스티렌 파종용 bed(폭73×길이163×높이9cm)에 plastic연결pot를 넣은 다음, mat하단만이 물에 닿도록 물을 채운 후 10°C이상 되게하였다. 떡잎이 전개하면(암면밖으로 뿌리가 거의 나오기전), 직경9cm의 망상 plastic pot에 mat를 넣고 주위를 자갈로 채운 후, 다시 파종용bed에 놓았다. 액면은 mat밑의 자갈에 오도록 하여 순환시켰으며, 배양액을 표준의 1/3농도로 주었다. 본엽이 전개하고 뿌리가 pot밖으로 나오기 시작할 때, pot를 담액 bed에 20cm간격으로 이식하였다. 육묘상은 모두 3조로, 발포폴리스티렌판으로 가로20×세로48cm되게 만들어 20cm간격으로 구멍을 뚫은 재배bed를 이용하였다. 이식한 후 pot하단에 물이 닿도록 액면을 조정하였다. 뿌리가 pot밖으로 충분히 나왔을 때 배양액 액면을 낮추고, 배양액 조성은 1/2농도로 한 다음, 40cm간격으로 정식하였다. 생육정도를 알아보기 위하여 정식일로부터 주2회 엽장이 1cm 이상인 것을 측정대상으로 하여 엽수를 조사하였다. EC, pH, 배양액 조성 등은 조절하지 않았다.

본엽이 9매 정도일 때 유인선을 치고 줄을 내려 줄기를 고정시켰다. 정지는 주지만 남기고 이후에 나오는 측지는 모두 제거하는 직립1본 세우기 정지법으로 하여, 5화방까지 전개하면 위로 2엽을 남기고 적심하였다. 단, 측지에 잎이 2매 달리게 하고 적심하였다. tomatoton처리는 화방당 2~3 화, 5화, 10화, 15화 개화할 때마다 100배액을 분무기로 뿌려주었으며 화방당 20개만 남기고 적화하였다. 수확한 과실은 chromameter(CR300, Minolta, Japan)를 이용하여 果色을 측정한 후, a 값이 15이상인 과실에 대하여 품종간의 외형형질(과장, 과폭, 과중, 과실부피)을 조사하였다. 추정

에 사용한 과실의 수는 1차실험시 뽕뽕이 41, 체르시미니가 40, 미니캐롤이 47개였으며, 2차실험 시에는 318개였다.

## 結果 및 考察

### 1. 과실의 외형

토마토 과실의 果長은 'Chelseamini'와 '뽕뽕'가 가장 길고, 'Minicarol'이 다른 것에 비해 1cm정도 작았다(Table 1). 果幅은 'Chelseamini'와 '뽕뽕'간

Table 1. Characteristics of fruits used in estimation.

Variable	Cherry tomato cultivars								
	Chelseamini			Minicarol			Popo		
	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max
Length	3.6a <sup>*</sup>	2.8	4.1	2.5b	2.0	3.0	3.5a	2.5	4.1
Width	4.0a	3.0	4.4	2.6c	2.0	3.2	3.7b	2.6	4.4
Lw ratio <sup>*</sup>	0.9b	0.8	1.0	1.0a	0.9	1.1	1.0a	0.9	1.1
Weight	32.65a	16.25	44.42	10.16c	5.29	16.21	27.01b	9.97	45.06
Volume	32.02a	16.02	43.58	9.90c	5.08	15.84	26.49b	9.82	44.09
SG <sup>†</sup>	1.020b	1.014	1.027	1.028a	1.015	1.045	1.019b	1.007	1.028

<sup>\*</sup> Lw ratio=length/width

<sup>†</sup> SG:Specific gravity

<sup>\*</sup> Means with the same letter within a row are not significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.

에 차이는 크지 않았으나, 유의하게 그 차이가 인정되었다. 'Minicarol'은 이들에 비해 1cm이상 작았다. 果長과 果幅의 比는 'Minicarol'과 '뽕뽕'가 약 1로 球形에 가까운 형질을 나타냈으며, 'Chelseamini'는 0.9로 길이에 비해 幅이 약간 큰 형질을 나타냈다. 果長과 果幅에서 유추할 수 있듯이 果重과 과실의 부피는 'Chelseamini'가 가장 크고, '뽕뽕', 'Minicarol'의 順이었으나, 특히 'Minicarol'이 작았다. 과실의 내용물의 충실도를 나타내는 하나의 요소로서 비중을 들 수 있는데, 과실내의 공극에 존재하는 공기용적의 차이에 의한 결과일 수도 있음을 부정할 수는 없으나, 비중은 'Minicarol'에서 높은 수치를 나타내어 고품질이 상대적으로 많을 가능성을 보였다.

### 2. 과실의 외형 형질간의 상관

방울토마토 과실의 외형 형질인 果長, 果幅, 果重, 果實부피간에는 고도의 상관이 인정되(Table 2), 과실의 생장은 길이생장과 부피생장이 아주 균형있게 이루어지는 것으로 나타났다. 외형형질의 상관관계는 품종별로도 인정되었다(Table 3). 과실의 비중은 果長, 果幅, 果重, 果實부피의 어느 것보다도 상관이 인정되지 않아, 비중을 영양생장에 관한 형질로서가 아니라 과실의 성숙과 연관지어 연구할 필요성을 보였다.

### 3. 果重 및 과실부피의 비파괴적 추정

식물의 양적, 질적 상태를 전에는 파괴적인 방

Table 2. Correlation analysis between external quality for cherry tomatoes.

Parameter	Volume	Length	Width	SG <sup>2</sup>
Fresh	1.0000 <sup>1</sup>	0.9678	0.9765	-0.4993
Weight	0.0001 <sup>1</sup>	0.0001	0.0001	0.0001
Volume		0.9677	0.9769	-0.5047
Length		0.0001	0.0001	0.0001
Width			0.9601	-0.5154
			0.0001	0.0001
				-0.5482
				0.0001

\* Data analyzed were the summation of 3 cultivars.  
<sup>1</sup> SG: specific gravity  
<sup>2</sup> Pearson Correlation Coefficients  
<sup>3</sup> Probability: Prob > |R| under Ho: Rho=0/N=128

Table 3. Correlation analysis between external quality for each cherry tomato.

A. Chelseamini

Parameter	Volume	Length	Width
Fresh	0.9999 <sup>2</sup>	0.9283	0.9779
Weight	0.0001 <sup>3</sup>	0.0001	0.0001
Volume		0.9282	0.9783
Length		0.0001	0.0001
			0.8983
			0.0001

B. Mincarol

Parameter	Volume	Length	Width
Fresh	0.9998	0.9297	0.9198
Weight	0.0001	0.0001	0.0001
Volume		0.9269	0.9195
Length		0.0001	0.0001
			0.8561
			0.0001

C. Popo

Parameter	Volume	Length	Width
Fresh	0.9999	0.9519	0.9423
Weight	0.0001	0.0001	0.0001
Volume		0.8504	0.9438
Length		0.0001	0.0001
			0.8845
			0.0001

<sup>1</sup> Pearson Correlation Coefficients  
<sup>2</sup> Probability: Prob > |R| under Ho: Rho=0

법으로 측정하였으나, 연속적인 결과를 얻기 위하여, 혹은 파괴적인 방법을 사용할 수 없는 경우 등이 있기 때문에 비파괴적인 방법으로 식물의 상태를 간접적으로 측정할 필요가 있고, 이의 중요성은 최근 컴퓨터의 발달로 더욱 증대되고 있다. 따라서 앞서의 상관성을 이용하여 果長과 果幅으로부터 果重 및 果實부피를 추정하는 시도를 행했다.

토마토과실은 과장과 과폭의 비에서 알 수 있듯이 구형에 가까운 양상을 띠므로 과실의 부피는 球의 체적을 구하는 식을 변형하여 직선회귀식을 이용하여 유추했다. 구의 체적은 식(1)과 같은데, 과실에서는 반지름 대신에 果長과 果幅을 측정하였으므로 반지름을 식(2)와 같이 변형하였다. 식(2)의 반지름을 식(1)에 대입하면 식(3)과 같이 된다.

$$\text{구의 체적} = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad (1)$$

$$\text{반지름} = \frac{\text{果長} + \text{果幅}}{4} \quad (2)$$

$$\text{구의 체적} = \frac{4}{3}\pi \left[ \frac{\text{果長} + \text{果幅}}{4} \right]^3 \quad (3)$$

과실은 완전한 구형이 아니므로 4π/3을 상수로 하면 직선회귀식을 얻을 수 있는데 128개의 과실을 품종에 관계없이 사용한 결과 식(4)를 얻었다. 이 식의 γ<sup>3</sup>은 0.985로 99.99%의 유의성이 인정되어 과장과 과폭으로 체적을 비파괴적으로 추정할 수 있음이 입증되었다.

$$\text{구의 체적} = 4.531 \left[ \frac{\text{果長} + \text{果幅}}{4} \right]^3 + 0.451 \quad (4)$$

Table 2에서 과중과 과실부피간에는 거의 1에 가까운 상관성이 인정되었으며, 동시에 비중은 Table 1에서와 같이 1에 가까웠으므로 과실의 체적대신에 과중을 종속변수로 하여 부피에서와 같은 방법으로 직선회귀식을 구하였는데 식(5)와 같았고, γ<sup>3</sup>도 0.985로 부피에서와 같이 높은 유의성을 나타내어 과장과 과폭으로부터 과실의 무게와 부피를 비파괴적으로 추정할 수 있음을 입증하였다(Fig.1).

$$\text{과실의 무게} = 4.610 \left[ \frac{\text{果長} + \text{果幅}}{4} \right]^3 + 0.542 \quad (5)$$

이상의 추정을 각 품종별로 실행한 결과(Table 4), 모든 果重 회귀식에서의 기울기가 체적에 비

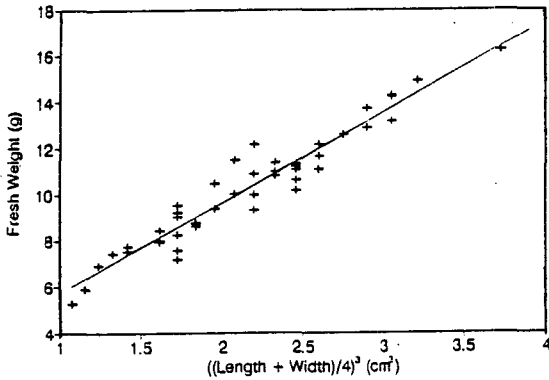


Fig. 1. The relationship between fresh weight and length×width in 'Minicarol' cherry tomato fruits. fresh weight=3.911×((length×width)/4)<sup>3</sup>+1.817. N=128. r<sup>2</sup>=0.925.

Table 4. Regression models for estimating fresh weight and volume of cherry tomato fruits.

Cultivars	Regression models	γ <sup>2</sup>
Minicarol	volume=3.853×LW×1.676	0.924
	fresh weight=3.911×LW ×1.817	0.925
Chelseamini	volume=4.279×LW×2.826	0.957
	fresh weight=4.347×LW ×2.996	0.957
Popo	volume=4.336×LW×1.196	0.963
	fresh weight=4.437×LW ×1.134	0.963

\* LW=(length+width)/4<sup>3</sup>

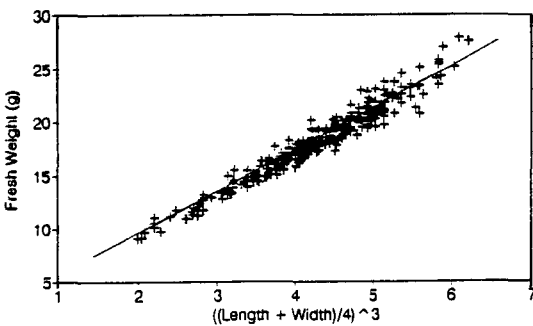


Fig. 2. Observed(symbols) and predicted(lines) fresh weights for 'Minicarol' cherry tomato fruits by prediction model made in 1992. N=318.

해 컸는데. 이는 성숙과 함께 비중이 커짐을 보여주는 결과이다.

1992년의 1차 실험에서 얻어진 회귀식중 우수한 품종으로 생각된 'Minicarol'을 대상으로 적합 정도를 검정하기 위하여 1993-1994년에 2차 실험을 행하였다. 318개의 과실(표본평균 : 과장3.2, 과폭3.3, 과중18.3g)을 대상으로 검정한 결과 재배 시기에 관계없이 본 회귀식이 잘 적용되는 것으로 나타났다(Fig. 2). 단, 기존의 model에 1994년도 자료를 첨가하여 새로운 추정식을 만드는 것이 추정식의 안정성을 높이므로 'Minicarol'의 과실 363개에 대하여 식(6)을 만들었다.

$$\text{과실의 무게} = 3.949 \left[ \frac{\text{果長} + \text{果幅}}{4} \right]^3 + 1.513 \quad (\gamma^2 = 0.967) \quad (6)$$

## 摘 要

방울토마토의 수경재배시 과실의 외형형질을 비파괴적으로 추정하고, 이를 검정하였다. 'Chelseamini'와 '뽕뽕'에 비해 'Minicarol'의 외형상의 크기(과장, 과폭, 과중, 과실부피)가 특히 작았다. 토마토 과실의 외형형질 간에는 고도의 상관성이 인정되어 과실의 생장은 길이생장과 부피생장과 균형있게 이루어지는 것으로 나타났다. 과실의 체적 및 무게는 다음 식으로 추정가능하였다. 과실의 체적=0.071×(과장+과폭)<sup>3</sup>+0.451, 과실의 무게=0.072×(과장+과폭)<sup>3</sup>+0.542. 1993-1994년에 수확한 과실도 이 식으로 설명되었다.

## 引用文獻

1. Erickson, R. O. 1976. Modeling of plant growth, Ann. Rev. Plant Physiol. 27:407-434.
2. Gent, M. P. N. 1983. Rate of increase in size and dry weight of individual pods of field grown soya bean plants. Ann. Bot. 51:317-329.
3. Grange, R. I. and J. Andrews. 1993. Growth rates of glasshouse tomato fruit in relation to

- final size. *J. Hort. Sci.* 68(5):747-754.
4. Higgs, K. H. and H. G. Jones. 1984. A micro-computer-based system for continuous measurement and recording fruit diameter in relation to environmental factors. *J. Exp. Bot.* 35: 1646-1655.
  5. Hole, C. C. and A. Barnes. 1980. Maintenance and growth components of carbon dioxide efflux from growing pea fruits. *Ann. Bot.* 45: 295-307.
  6. 金永植. 1992. 水耕栽培에 적합한 방울토마토의品種選抜. *생물생산시설환경* 1(2):175-180.
  7. 金永植・崎山亮三・田附明夫. 1989. アスパラガス若莖の伸長生長に及ぼす氣温の影響と若莖重の推定. *日園學雜* 58(1):155-160.
  8. McAvoy, R. J., H. W. Janes, B. L. Godfriaux, M. Secks, D. Duchai and W. K. Wittman. 1989. The effect of total available photosynthetic photon flux on single truss tomato growth and production. *J. Hort. Sci.* 64(3):331-338.
  9. Marcelis, L. F. M. 1992. Non-destructive measurements and growth analysis of the cucumber fruit. *J. Hort. Sci.* 67(4):457-464.
  10. Monselise, S. P., A. Varga and J. Bruinsma. 1978. Growth analysis of the tomato fruit *Lycopersicon esculentum* Mill. *Ann. Bot.* 42: 1245-1247.
  11. NeSmith, D. S. 1991. Nondestructive leaf area estimation of rabbiteye blueberries. *HortScience* 26(10):1332.
  12. Robbins, N. S. and D. M. Pharr. 1987. Leaf area prediction models for cucumber from linear measurements. *HortScience* 22(6):1264-1266.
  13. 田附明夫・崎山亮三. 1984. 着果状態におけるキュウリ果實の體積推定と生長解析. *日園學雜* 53(1):30-37.
  14. Tazuke, A. and R. Sakiyama. 1986. Effect of fruit temperature on the growth of cucumber fruits. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 55(1):62-68.
  15. Walker, A. J. and L. C. Ho. 1977. Carbon translocation in the tomato: Carbon import and fruit growth. *Ann. Bot.* 41:813-824.
  16. Walker, A. J. and L. C. Ho. 1977. Carbon translocation in the tomato: Effects of fruit temperature on carbon metabolism and rate of translocation. *Ann. Bot.* 41:825-832.
  17. Wehner, T. C. and M. E. Jr. Saltveit. 1983. Photographic analysis of cucumber fruit elongation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:465-468.
  18. Wolf, S., J. Rudich, A. Marani, and Y. Rekah. 1986. Predicting harvesting date of processing tomatoes by a simulation model. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(1):11-16.
  19. 山崎肯哉. 1982. 養液栽培全編. 博友社.