

# 일평균온도에 따른 상추 생체중 증가 해석

## Growth analysis of leaf lettuce in different average daily temperatures

문보흠\* · 조일환

원예연구소 시설재배과

Boheum Mun\* · Ill-Hwan Cho

*Div. of Protected Cultivation, National Horticultural Research*

*Institute, RDA, Suwon 441-440, Korea*

### 서 론

환경오염에 대한 우려가 증가하면서 청정 채소의 요구도 높아지는 추세이며, 최근 양액재배를 통하여 저농약 및 저화학비료 작물 생산에 대한 관심도 증가하고 있다. 특히 주로 잎을 생식하는 상추를 포함한 쌈 채소류는 농약이나 중금속에 오염되었을 경우 인체에 미치는 영향이 심각하고, 다른 작물에 비해 생육속도가 빠르기 때문에 그 흡수량 또한 급속히 일어난다. 때문에 엽채류에서 청정재배가 무엇보다 필요하고 이를 해결하기 위해선 토경보다 관리가 용이하고 품질을 제어할 수 있는 식물공장 생산체계의 도입과 확립이 무엇보다 필요하다 할 것이다.

식물공장에서 작물을 생산하는 기술은 이미 일본이나 벨기에 등에서는 상용화되어 몇 가지 엽채류나 고부가가치 작물을 생산하고 있으나 우리나라에서는 이제 시작하는 단계이다. 특히 복합환경제어나 생체 품질제어에 관한 연구가 미비하고, 식물환경을 구성하는 각 요소별 영향을 정확히 정량화하는 연구가 부족한 실정이다. 특히 대부분의 엽채류는 생육이 빨라 수확시기를 하루라도 놓치면 품질이 급속히 저하하기 때문에 생육을 정확히 예측하는 것이 필요하다. 상추는 잎이 계속 분화하여 엽면적이 넓어지고 생체중이 증가하는 단축경 채소로, 시장성이 있는 엽수가 일정량 이상 확보되면 일시수확이 가능하다. 따라서 생육에 크게 영향하는 환경인자를 주 변수로 하여 생체중 증가량을 예측할 수 있게되면 계획생산이 가능하고 품질까지 제어할 수 있게 된다. 본 연구는 일평균온도에 따른 상추 생체중 증가반응을 분석하고 생체중을 정량화하기 위하여 수행되었다.

## 재료 및 방법

잎상추(청치마, 신젠타종묘(주))를 2002년 3월 25일 우레탄스폰지에 파종하여 수돗물에 침지시킨 발아상을 벤로온실에 옮겨놓고, 발아후 야마자키 처방액 1/2 농도의 양액을 공급하였다. 파종후 30일째 본엽이 4~5매인 균일한 상추를 인공생육상(2×1.4×1.8m, L×W×H, DS-59L, 다솔과학(주))에 설치된 수경재배시스템에 정식하였다. 각 인공생육상 안에 높이가 0.8m인 베드 받침대를 설치하고 그 위에 성형스티로폼 베드(65×65mm, L×W)를 3반복 배치하였으며 각 베드의 아래에 20L용 증류수통을 놓고 양액을 순환하였다. 이 때 수위는 약 4cm였으며 정식후 각 베드당 8개체씩 20×20cm 간격으로 정식하였다. 이 때부터 야마자키 처방액의 1.5배 양액을 30L씩 공급하였다. 환경적응을 위하여 정식후 3일간 20/20℃ 주야 항온에 두었으며, 그 이후 각 인공생육상의 온도를 10, 17, 24 및 31℃ 항온으로 처리하였다. 이 때 광도는 약 400 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>로 20mol·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup>이었으며, 일장은 14시간이었다. 습도조건은 모두 70%가 되도록 조절하였으며, 탄산가스 농도는 고순도 액화탄산가스를 이용하여 대기조건인 400 μmol·mol<sup>-1</sup>로 유지하였다. 정식 후 3일째부터 실험 종료까지 2~3일 간격으로 생체중을 조사하여 SAS와 Sigma-Plot 5.0을 이용하여 통계분석 및 생육분석을 수행하였다.

## 결과 및 고찰

각 일평균온도별 생장곡선은 Fig. 1과 같다. 전반적으로 시간에 따라 전형적 지수생장곡선을 나타내었으며, 이 때의 지수생장기의 생체중은

$$FW_t = FW_0 \cdot e^{RGR \cdot t} \quad (1)$$

(여기서,  $FW_t$ =당일 생체중;  $FW_0$ =정식시의 초기 생체중;  $RGR$ =상대생장속도;  $t$ =생육일수, day)

로 나타낼 수 있었다. 10℃에서 31℃까지 일평균온도가 증가하면 상추 생체중 증가 속도도 올라가는 추세였다. 그러나 10℃에서 24℃까지는 증가하였으나, 31℃에서는 24℃ 처리구보다 생육속도가 약간 감소하는 것을 알 수 있었다. 따라서 지수생장기의 상대생장속도( $RGR_{ADT}$ )를 일평균온도에 따른 함수로 표현하면 아래와 같은 베타분포 함수(Beta distribution equation)로 표현할 수 있었다(Fig. 2).

$$RGR_{ADT} = 0.374 \left[ \frac{(36 - ADT)}{12} \right] \left[ \frac{(ADT - 2.5)}{21.5} \right]^{\frac{21.5}{12}} \quad (2)$$

(여기서,  $ADT$ =일평균온도, ℃).

이 상대생장속도 식은 생육이 정지하는 최저온도와 최대온도 및 속도가 최대인 최적

온도는 각각 2.5, 22.5 및 36°C로 추정되었다.

또한 일평균온도별 직선성장곡선(Fig. 1)을 보면 생체중 증가식을 직선식인 다음과 같이 표현할 수 있었다.

$$FW_t = C_{max} \cdot (t - t_b) \quad (3)$$

(여기서,  $FW_t$ =당일 생체중;  $C_{max}$ =최대성장속도;  $t$ =생육일수, day;  $t_b$ =지수성장에서 직선성장으로 넘어가는 생육일수, day).

한편, 직선성장기에서 상추 생체중 증가 양상을 보면 10°C에서는 정식후 21일이 경과하더라도 직선성장을 나타내지 않았으며(Fig. 1), 17°C에서 24°C까지 일평균온도가 증가함에 따라 최대성장속도( $C_{max}$ )도 증가하였으나 그 이상의 온도에서는 오히려 감소하는 양상을 나타냈다. 따라서 일평균온도에 따른 최대성장속도( $C_{max_{ADT}}$ ) 식은 베타분포함수로 표현이 가능하였으며 그 식은 다음과 같이 지수성장시의 상대성장속도 식과 유사한 양상을 나타내었다(Fig. 3).

$$C_{max_{ADT}} = 391.161 \left[ \frac{(36 - ADT)}{12} \right] \left[ \frac{(ADT - 2.5)}{21.5} \right]^{\frac{21.5}{12}} \quad (4)$$

이 때 최저, 최대 및 최적온도는 식 (2)에서와 동일하게 추정되었다.

그리고 지수성장에서 직선성장으로 생육상이 전환되는 시기(전환소요일수)는 최적온도에서 가장 짧고 양쪽으로 길어지는 양상을 보였으며 Fig. 4와 같은 결과를 나타내었다. 이 전환시기를 추정하는 곡선은 Fig. 4와 같이 포물선형태로 표현할 수 있으나 비례함수인 베타분포함수가 더 적합할 것으로 판단된다.

## 요약 및 결론

일평균온도에 따른 상추 생육은 최적온도까지 지수성장기의 상대성장속도( $RGR$ )와 직선성장기의 최대성장속도( $C_{max}$ ) 모두 증가하였으나 그 이후 다시 감소하는 베타분포함수를 보였으며, 지수성장기에서 직선성장기로의 전환소요일수 또한 비례함수인 베타식으로 표현할 수 있었다. 따라서 상추의 생육 증가는 지수성장과 직선성장을 동시에 표현할 수 있는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$FW_t = \left( \frac{C_{max}}{RGR} \right) \ln [1 + e^{RGR(t - t_b)}]$$

여기서,  $FW_t$ =생체중( $g \cdot m^{-2}$ );  $C_{max}$ =직선성장기에서의 최대성장속도( $g \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$ );

$RGR$ =지수성장기에서의 상대성장속도( $g \cdot g^{-1} \cdot day^{-1}$ );  $t$ =생육일수(day);

$t_b$ =지수성장기에서 직선성장기로 전환될 때의 생육일수(day).

따라서 일평균온도 뿐만 아니라 광과 이산화탄소 농도와 같은 환경인자를 동시에 표현하는 생육모델을 이용하면 식물생산공장에서 상추 생육을 정확하게 예측할 수 있을 것으로 판단되며, 더불어 이러한 모델을 상추 생육 조절을 위한 환경제어 모듈에 결

합시킨다면 생육 또한 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

## 인용문헌

1. Gary, C., J.W. Jones, and M. Tchamitchian. 1998. Crop modelling in horticulture: state of the art. *Sci. Hort.* 74:3-20.
2. Goudriaan, J. and H.H. van Laar. 1994. Modelling potential crop growth processes: Textbook with exercises. *Current Issues in Production Ecology 2*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, Netherlands. 238 p.
3. Landsberg, J.J. 1977. Some useful equations for biological studies. *Exp. Agric.* 13:273-286.
4. Larsen, R.U., A. Birgersson, M. Nothnagl, and H. Karlen. 1998. Modelling temperature and flower bud growth in November cactus (*Schlumbergera truncata*, Haw.) *Sci. Hort.* 76:193-203.
5. Marcelis, L.F.M., E. Heuvelink, and J. Goudriaan. 1998. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review. *Sci. Hort.* 74:83-111.
6. Yan, W. and L.A. Hunt. 1999. An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperature. *Ann. Bot.* 84:607-614.
7. Yin, X., M.J. Kropff, G. McLaren, and R.M. Visperas. 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agric. For. Meteorol.* 77:1-16.

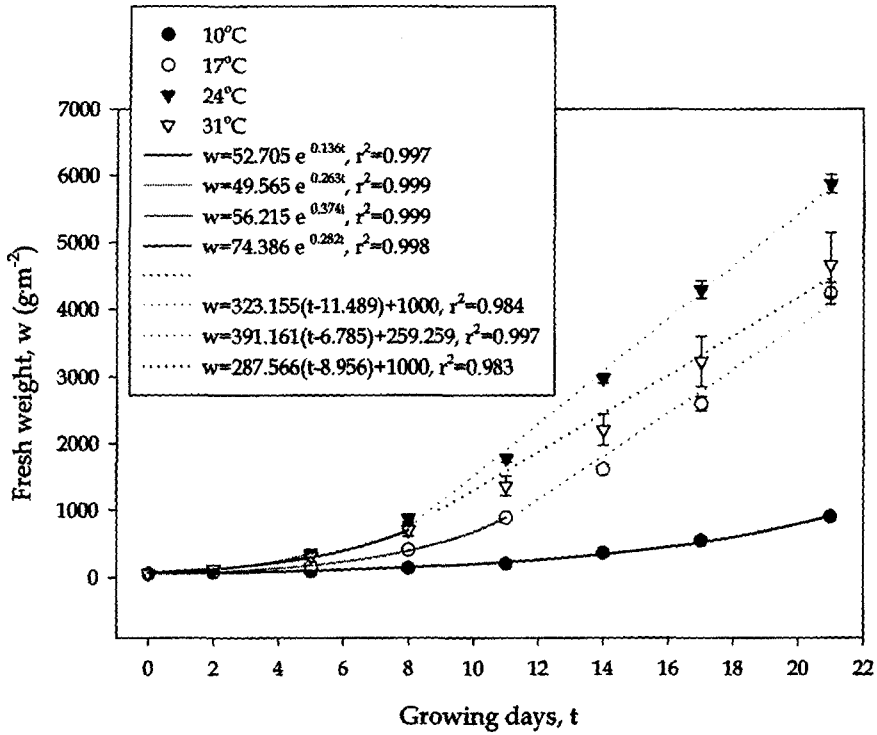


Fig. 1. Growth curves of leaf lettuce as the average daily temperatures (ADTs) were different in the growth chamber.

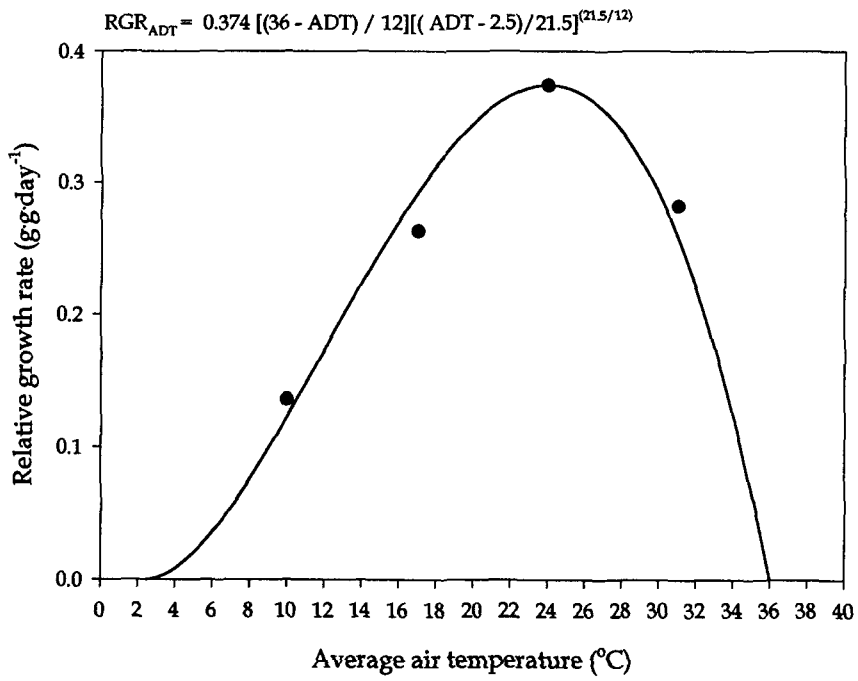


Fig. 2. Relative growth rates of leaf lettuce at the exponential growth stage as the ADTs were different in the growth chamber.

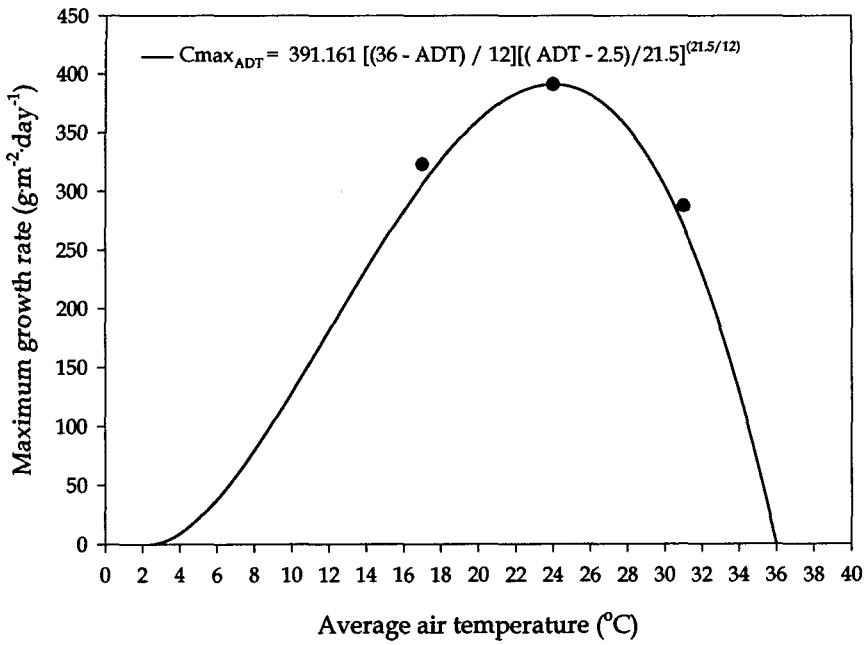


Fig. 3. Maximum growth rates of leaf lettuce at the linear growth stage as the ADTs were different in the growth chamber.

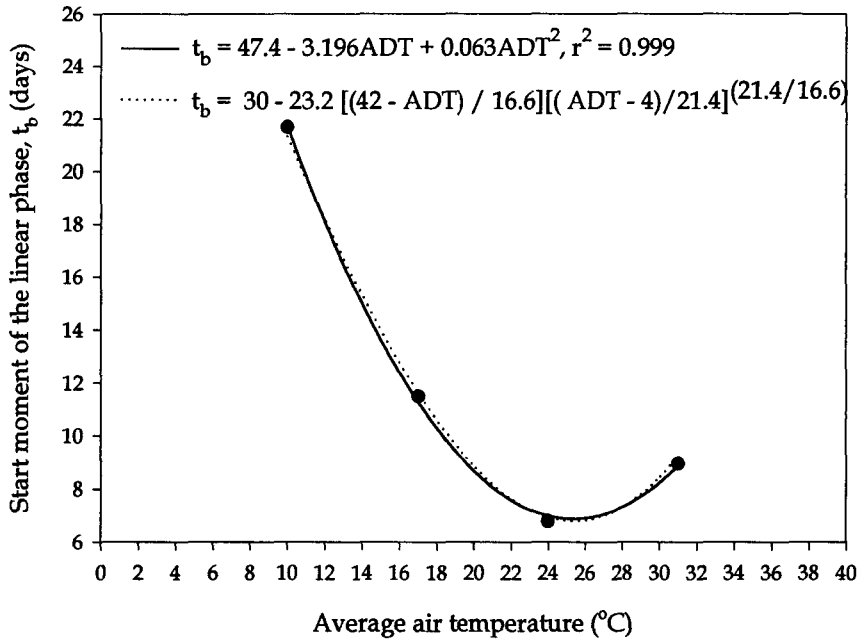


Fig. 4. Curve of start moment of the linear phase as the ADTs were different in the growth chamber.