

Daily Changes in Red-Pepper Leaf Surface Temperature with Air and Soil Surface Temperatures

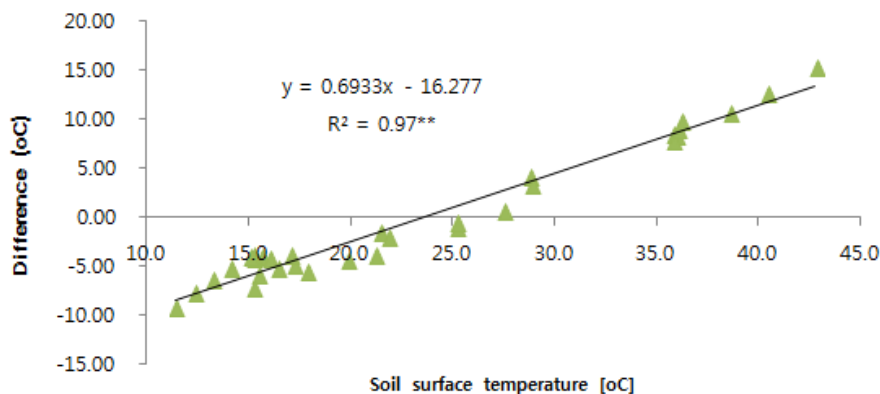
Ki-Cheol Eom*, Byung-Kook Lee, Young-Sook Kim, and Ho-Yong Eom

SEjong Institute of Data Analysis (SEIDA), Suwon 443-766, Korea

(Received: August 4 2014, Revised: October 24 2014, Accepted: October 24 2014)

This study was conducted to investigate the changes in daily surface temperature of red pepper leaf compared to air and soil surface temperature. The maximum, minimum and average daily temperatures of red pepper leaf were 27.80, 11.40 and 19.01°C, respectively, which were lower by 0.10, 7.60 and 3.86°C than air temperature, respectively, and lower by 15.00, 0.0 and 4.38°C than soil surface temperature, respectively. Mean deviations of the difference between measured and estimated temperature by the E&E Model (Eom & Eom, 2013) for the air and surface temperature of red pepper leaf and soil were 0.64, 1.82 and 4.77°C, respectively. The relationships between measured and estimated scaled factor of the air and surface temperature of red pepper leaf and soil were very close to the 1:1 line. Difference between air and surface temperature of red pepper leaf showed a linear decreasing function with the surface temperature of red pepper leaf. Difference between soil surface temperature and air and surface temperature of red pepper leaf linearly increased with the soil surface temperature.

Key words: Leaf surface temperature, Soil surface temperature, Scale factor



Difference between soil surface temperature and air temperature as a function of soil surface temperature.

*Corresponding author : Phone: +821088568765, E-mail: kceom6578@hanmail.net

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ009870)," Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

작물이 생육하는 과정에서 그 생육양상의 대표적인 지표 (Indicator)는 바로 작물의 체온이라고 볼 수 있으며, 그 중에서도 광합성이 일어나는 엽의 온도가 매우 중요한 요인이라 할 수 있다. 그러나 작물 엽온 측정을 위해서는 thermocouple (Scott, 2000 : Lal and Shukla, 2004) 등 고가의 장비와 고도의 측정 기술이 필요하나, 경시적으로 엽 표면온도를 측정하기에는 적절치 못하며, 적외선 온도계 등 간편한 측정 기구가 주로 이용되고 있다 (Eom et al., 1990).

특히 작물의 엽온은 하루의 일중시각에 따라 태양열을 받는 정도가 달라 그 온도의 편차는 큰 편이다. 따라서 작물별 엽온의 일중변화 양상이 우선적으로 구명되어야 온도연구를 위한 다음단계의 연구로 진척될 수 있다. 작물재배 포장에서는 엽온만 변하는 것이 아니라 기온과 그 작물재배지의 토양온도도 함께 변하고 있다. 즉, 태양복사에 의하여 전달된 열은 대기-작물-토양의 연속계에서 그 열 교환 작용과 함께 상호 높은 관련성을 갖고 변화하게 된다. 대기-작물-토양의 연속계에서 열 이동의 원동력은 상호간의 온도차이 이므로 대기와 작물, 작물과 토양 및 토양과 대기의 온도차이에 대한 일중시각에 따른 변화양상을 구명함은 매우 중요하다 할 수 있다.

온도 변화를 연구함에 있어 그 절대적인 온도의 변화양상은 시기별 및 지역별 그리고 작물별로 그 양상이 사뭇 다르게 나타나게 된다. 따라서 일률적인 상대비교가 가능토록 하는 방법 중 하나가 Scaling technique (Miller and Miller, 1955a, 1955b : Hillel and Erick, 1990 : Eom & Eom, 2008 : Eom & Eom 2013)이며, 이는 어느 일정한 조건에서 측정된 온도의 변화 양상이 다른 조건에서도 적용될 수 있는 변환계수 즉 scale factor를 구하여 이를 비교 기준치로 삼아 여러조건에서의 상호비교가 가능하게 된다. 이와 같은 scale factor를 구하는 방법으로는, dimensional 분석법, similitude 분석법 및 inspectional 분석법 등이 있으며 (Patricia and Nielsen, 1984), 본 연구에서처럼 기온 및 물질 표면온도의 변화양상은 Fourier's law를 따를 것이라는 가정하에 similitude 분석법에 기초하여 회귀계수 유도에 의한 기법이 가장 활용도가 높다고 할 수 있다 (Patricia and Nielsen, 1984 : Eom et al., 1995).

따라서 본 연구에서는 기온과 고추 엽 및 토양의 표면온도를 일중시각을 나타내는 E&E time (Eom & Eom, 2013)에 따른 절대적인 온도 및 scale factor의 변화양상과 기온과 고추 엽 및 토양 표면온도 상호간의 차이에 대한 변화 양상을 분석하였다.

본 연구는, 금후 작물체의 부위별 표면온도 관련 연구, 특히 작물의 엽온을 측정함에 있어, 일중시각이 다르면서 경시적으로 기온이나 작물체 및 토양 표면온도를 monitoring

한 온도 data를 해석해야 되는 경우에 기초자료로 활용할 수 있으리라 생각된다.

Materials and Methods

본 연구는 고추 (품종 명 : PR일거양득)를 2014년 5월 23일 경기도 수원시 당수동 포장에 30 cm x 60 cm의 재식밀도로 정식한 후 1개월 후인 6월 24일 09:00부터 6월 25일 09:00까지 24시간 동안 45분 간격으로 고추 엽 및 토양의 표면온도를 적외선 온도계 (SK-8700 II)를 이용하여 각각 28회씩 측정하였으며, 매회 측정 마다 5지점 측정치의 평균값을 구하여 측정결과를 분석하였다. 기온 측정은 모든 시험 포장마다 백엽상을 설치하여 측정하여야 정확하겠지만 그 또한 현실적으로 어려운 여건이므로, 본 시험포장[수원시 당수동]과 약 2 km 떨어진 수원기상관측소 (수원시 서둔동의 백엽상에서 측정된 기온을 활용하였으며, 2 km 정도 거리 차에 의한 기온의 편차는 일중 시각에 의한 편차와 비교하면 무시할 수 있는 정도이기에 수원기상관측소의 측정치를 이용하였고, 수원 기상관측소의 1시간 간격 24시간 동안의 기온치를 이용하여 고추 엽온 및 토양 온도와 시간대에 의한 오차를 줄이기 위하여 E&E Model (Eom & Eom, 2013)에 의하여 45분 간격치의 시간대별 기온으로 예측한 결과를 활용하였다.

또한, 하루의 시각을 자정을 기준으로 하여 기준일 자정으로부터 다음일 자정까지의 24시간에 대하여 기준일 자정을 0으로 하여 그로부터 경과된 시간을 분 단위로 나타낸 「E&E time」 그리고 하루 24시간인 1,440분을 「Kmin. 또는 K분」이라고 명명한 단위로 표시한 시각 (Eom & Eom, 2013)에 따라 일중 시각(Kmin.)별 온도의 변화양상을 분석하였다.

기온과 고추 엽 및 토양 표면온도의 일중변화 양상을 추정하기 위한 모형은 식 (1)과 같은 E&E Model (Eom & Eom 2013)을 활용하였다.

$$T = a \cdot \sin [b \cdot (x + c)] + d \quad (1)$$

단, T는 온도(°C), x는 E&E time (Kmin.), a,b,c,d는 계수임.

상기 모형에서 각 계수는 다음과 같이 설정된다. 즉, a값은 일중변화 진폭의 1/2에 해당하는 값을 뜻하는 계수이므로 실측한 최고온도와 최저온도 차이의 1/2값으로 설정되며, b값은 주기를 뜻하는 계수이므로 하루를 1주기로 하였기에 1.0을 적용하였다. c값은 sin함수 graph의 기준시각과 관련된 계수이므로 실측치의 graph형태에 근거하여 자정시각이 0이 되도록 graph를 x축 방향으로 평행이동 시키는 값을 적용하였다. d값은 최고온도와 최저온도의 평균치가 graph의 중심에 오면서 실측치가 y축에 표현될 수 있도록 graph를 y

축 방향으로 평행이동 시키는 값을 적용하였다.

본 연구 조건에서 온도의 일증변화 양상과 측정조건이 다른 경우 그 온도 (T)의 절대 값이 다르기 때문에 이 차이를 극복하기 위하여 상대적인 온도 값으로 변환시킨 변수 (Tsc), 즉 scale factor를 식 (2)와 같이 설정하여 기온과 고추 잎 및 토양 표면온도의 일증변화 양상을 분석하였다 (Eom & Eom 201).

$$T_{sc} = (T_x - T_n) / (T_m - T_n) \tag{2}$$

단, T_x (Daily temperature : °C)는 일중시각별 온도, T_n (Daily minimum temperature : °C)은 일중 최저 온도, T_m (Daily maximum temperature : °C)은 일중최고 온도 임.

Results and Discussion

노지재배 고추 (품종명 : PR 일거양득)의 정식 1개월 후 기온과 고추 잎 및 토양 표면온도의 일중 평균온도는 각각 22.87, 19.01 및 23.39°C 이었으며, 고추 잎 표면온도는 기온 및 토양 표면온도에 비하여 각각 3.86 및 4.38°C 낮았다. 이와 같은 결과는 기상조건이 강수량이 매우 적고 건조 고온의 상태에서 대기 및 토양보다 작물체내의 일중 평균 수분함량이 더 높은 것에 기인되었다고 사료된다.

또한 기온과 고추 잎 및 토양 표면의 일중 최대온도는 각각 27.90, 27.80 및 42.80°C 이었으며, 고추 잎의 일중 최대 표면온도는 기온 및 토양 표면온도에 비하여 각각 0.10 및 15.00°C 낮았다. 이와 같은 결과는 태양열에 의한 온도상승이 대기와 고추 잎 표면의 경우는 그 정도가 유사하나, 토양의 경우는 대기나 작물체보다 비열이 낮아 태양열의 흡수에 의한 온도 상승 정도가 대기나 고추 잎 보다는 매우 크기 때문이라고 사료된다.

한편 기온과 고추 잎 및 토양 표면의 일중 최저온도는 각각 19.00, 11.40 및 11.40°C 이었으며, 고추 잎의 일중 최저 표면온도는 기온에 비하여 7.6°C 낮았으나 토양 표면의 일

중 최저온도와는 차이가 없었다. 이와 같은 결과는 기온과의 차이는 대기와 작물체 내 수분함량은 차이가 많으나, 토양 표면 온도의 경우는 일반적인 토양수분 이동 원리를 고려해 볼 때 즉, 전날 야간부터 최저기온을 나타내는 다음 날 동 트기 전의 새벽 시간까지 토양의 모세관 현상에 따른 수분 상승에 의하여 심토로부터 표층으로 수분이 공급된 결과라고 사료된다.

일중 온도의 편차 즉, 최대 온도와 최저 온도와와의 차이는 기온과 고추 잎 및 토양 표면온도의 경우 각각 8.90, 16.40 및 31.40°C 이었다. 이와 같은 결과는 일중 시각별 물 이동 양상을 고려 해 볼 때, 토양, 작물체, 대기 순으로 수분함량의 변화가 더 큰 것에 기인되었다고 사료된다.

이와 같은 결과로 볼 때, 대기나 작물체 및 토양의 온도는 input 요인인 태양열의 흡수 정도와 그 물질의 비열에 의한 열전달 정도 등에 따라 좌우 되므로, 온도 변화에 대한 좀 더 세부적인 mechanism을 구명하기 위해서는 수분 이동과 함께 연구 되어야 할 것으로 생각된다.

일중 온도 변화에 대한 일중 시각 별 예측은, 일중시각을 E&E time (Eom & Eom, 2013)으로 하여 E&E Model (식 (1))에 의하여 기온, 고추 잎 표면온도 및 토양 표면온도를 예측한 결과는 각각 식 (3), (4) 및 (5)와 같다.

$$E[Ta] = 4.45 \cdot \sin (X + 945) + 23.45 \tag{3}$$

단, $E[Ta]$ 는 시각별 추정 기온, X 는 E&E time (K_{min}) 임.

$$E[Tcb] = 8.20 \cdot \sin (X + 945) + 19.60 \tag{4}$$

단, $E[Tcb]$ 는 시각별 추정 고추 잎 표면온도, X 는 E&E time (K_{min})임.

$$E[Ts] = 15.70 \cdot \sin (X + 945) + 27.10 \tag{5}$$

단, Ts 는 시각별 추정 토양 표면온도, X 는 E&E time

Table 1. Measured and estimated the average, maximum and minimum temperature: Unit (°C).

Temperature	Air temperature		Surface temperature of red pepper leaf		Soil surface temperature	
	Measured	Estimated	Measured	Estimated	Measured	Estimated
Average	22.87	23.31	19.01	19.60	23.39	27.10
Maximum	27.90	27.89	27.80	27.78	42.80	42.77
Minimum	19.00	19.01	11.40	11.42	11.40	11.43
Deviation (Maximum-Minimum)	8.90	8.88	16.40	16.36	31.40	31.33
Mean deviation (Measured-Estimated)	0.64		1.82		4.17	

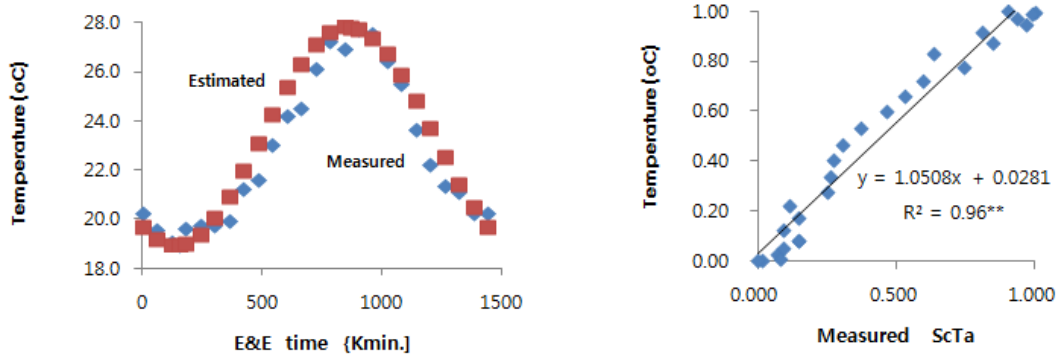


Fig. 1. Changes in measured and estimated air temperature and scale factor[ScTa].

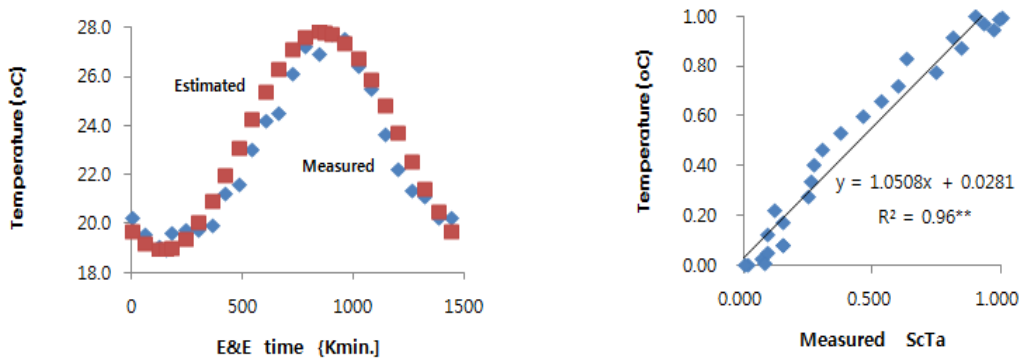


Fig. 2. Changes in measured and estimated surface temperature of red pepper leaf and scale factor [ScTb].

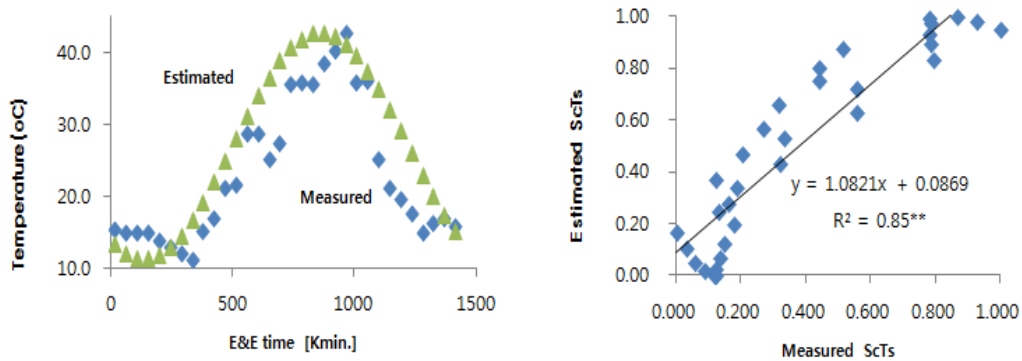


Fig. 3. Changes in measured and estimated soil surface temperature and scale factor[ScTs].

(Kmin.)임.

기온과 고추 잎 및 토양 표면온도의 실측치와 예측치는 각각 Fig. 1, Fig. 2 및 Fig. 3의 왼쪽 그림과 같으며, 일중 시각 별 실측치와 예측치의 편차에 대한 평균편차는 각각 8.90, 16.40 및 31.40°C 이었다. 이로 볼 때 일중 온도의 변온 폭은 토양, 고추 잎, 대기의 순으로 크다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 전기한 온도 변화의 원인과 같은 이유라고 판단된다.

실측한 일중 온도에 대한 scale factor값 (식 (2))에 대한 예측치는 기온, 고추 잎 및 토양 표면온도 모두 식 (6)의 하나의 식으로 산출되었으며, scale factor의 실측치와 예측치의 상관관계는 Fig. 1, Fig. 2 및 Fig. 3의 오른쪽 그림에서

보듯이 직선적인 정의 상관관계를 보이며, 특히 기온기는 1.0에 매우 가깝고 절편은 0에 매우 가까워, 상기 3가지 경우 모두 1 : 1 line에 매우 접근한다고 판단된다. 이는 기온과 고추 잎 및 토양 표면온도의 절대 값은 그 변화양상이 서로 다르나 수치변환 된 scale factor 값의 변화 양상은 동일하다는 것을 뜻하는 것으로, 금후 온도 변화 양상을 구명하기 위해서는 온도의 절대값 보다 수치변환 된 scale factor 값에 대한 해석이 더 중요하다고 판단된다.

$$E[ScT] = 0.5 \cdot \sin (X + 945) + 0.5 \tag{6}$$

단, E[ScT]는 시각별 추정 Scale factor, X는 E&E time

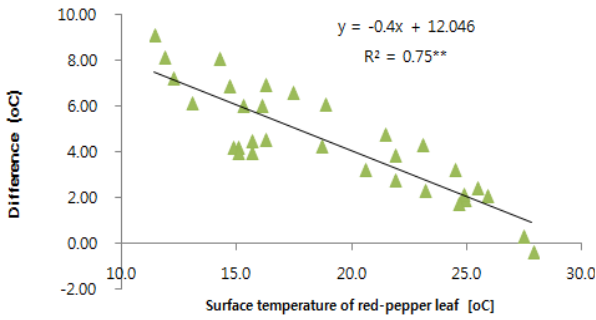


Fig. 4. Difference between air temperature and surface temperature of red pepper leaf as a function of surface temperature of red pepper leaf.

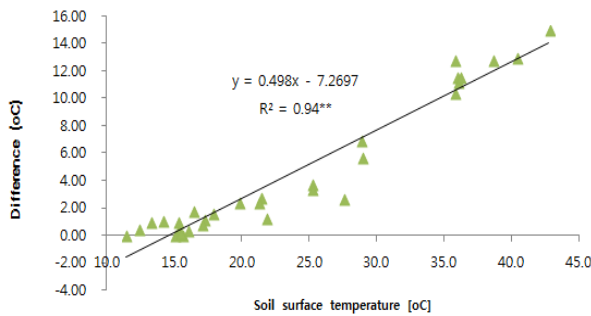


Fig. 5. Difference between soil surface temperature and surface temperature of red pepper leaf as a function of soil surface temperature.

(Kmin.)임.

또한, Eom & Eom (2013)의 연구결과는 감나무, 고추 및 콩의 2013년도 측정된 열 표면온도에 대하여 Scaling technique을 이용하여 해석한 결과이며, 본 연구는 2014년도 기온과 고추 잎 및 고추재배 토양 표면 온도에 대한 Scaling technique을 이용하여 해석한 결과이다.

기온과 고추 잎 표면온도와의 차이 (Fig. 4)는 고추 잎 표면온도에 대하여 식 (7)과 같은 1차 함수의 상관관계인 직선적인 감소 경향을 나타내었다.

$$dT[E(Ta)-Tcb] = -0.4 Tcb + 12.046 \quad (7)$$

단, $dT[E(Ta)-Tcb]$ 는 기온과 고추 잎 표면온도와의 차이, Tcb 는 고추 잎 표면온도 임.

이와 같은 결과는 고추 잎 표면온도가 낮은 시각은 야간 새벽 시간으로서, 태양열에 의한 열 흡수는 없는 상태로 주간에는 단파 형태로 흡수되었던 열이 장파 형태로 대기 상층을 향해 계속 방출되는 과정에 있게 되는데, 대기보다 고추 잎 표면에서의 방출량이 더 많은 것에 기인되었다고 판단된다. 한편 고추 잎 표면 온도가 높은 시각은 주간 태양열이 가장 강하게 복사되는 시간으로서 반사 또는 장파로 방출 되는 량보다 단파로 흡수되는 열 량이 워낙 많은 상태이라 이 경우는 흡수되는 정도에 따라 온도가 차이하게 되는

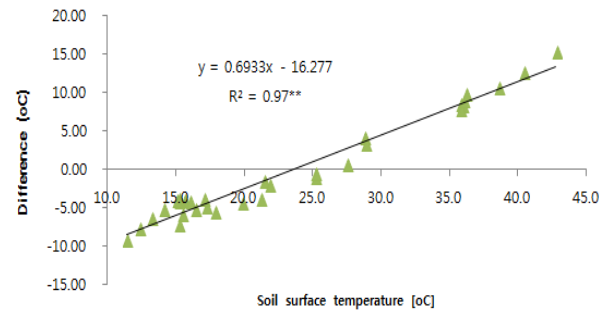


Fig. 6. Difference between soil surface temperature and air temperature as a function of soil surface temperature.

데, 그 흡수정도는 대기와 고추 잎 표면 간에 별 차이가 없는 것에 기인되었다고 판단된다.

고추 재배지 토양 표면온도와 고추 잎 표면온도와의 차이 (Fig. 5)는 토양 표면온도에 대하여 식 (8)과 같은 1차 함수의 정의 상관관계를 나타내었다.

$$dT[Ts-Tcb] = 0.498(Tcb) - 7.27 \quad (8)$$

단, $dT[Ts-Tcb]$ 는 고추 잎과 토양 표면온도와의 차이, Ts 는 토양 표면온도 임.

이와 같은 결과는 토양 표면온도가 낮은 시각은 동 트기 전 새벽 시간으로서, 태양열에 의한 열 흡수는 없는 상태로 주간에는 단파 형태로 흡수되었던 열이 장파 형태로 토양 표면에서 대기를 향하여 계속 방출되는 과정에 있게 되는데, 토양 표면에서와 고추 잎 표면에서의 방출 양상이 유사하여 그 온도 차이가 매우 작은 것으로 판단된다. 한편 토양 표면 온도가 높은 시각은 주간 태양열이 가장 강하게 복사되는 시간으로서 반사 또는 장파로 방출 되는 량보다 단파로 흡수되는 열 량이 워낙 많은 상태이라 이 경우는 흡수되는 정도에 따라 온도가 차이 하게 되며, 그 흡수정도는 표층토와 고추 잎의 수분 함량에 따라 좌우되는데, 고추 잎을 통한 증산 정도보다 토양표면을 통한 증발 정도가 더 심하여 상대적으로 표층토의 수분함량이 매우 낮아 비열이 고추 잎보다 낮기 때문에 온도 상승 폭이 커지게 되는 것에 기인되었다고 판단된다.

고추 재배지 토양 표면온도와 기온과의 차이 (Fig. 6)는 토양 표면온도에 대하여 식 (9)와 같은 1차 함수의 정의 상관관계를 나타내었다.

$$dT[Ts-E(Ta)] = 0.69(Ts) - 16.277 \quad (9)$$

단, $dT[Ts-E(Ta)]$ 는 토양 표면온도와 기온의 차이, Ts 는 토양 표면온도 임.

이와 같은 결과는 토양 표면온도가 낮은 시각은 동 트기 전 새벽 시간으로서, 태양열에 의한 열 흡수는 없는 상태로

서 주간에는 단파 형태로 흡수 되었던 열이 장파 형태로 토양 표면에서 대기를 향하여 계속 방출되는 과정에 있게 되는데, 토양 표면에서의 방출량이 대기의 방출량보다 훨씬 많기 때문에 토양의 온도가 계속 낮아져 기온과의 온도 차이가 큰 것으로 판단된다. 한편 토양 표면 온도가 높은 시각은 주간 태양열이 가장 강하게 복사되는 시간으로서 반사 또는 장파로 방출되는 량보다 단파로 흡수되는 열 량이 워낙 많은 상태이라 이 경우는 흡수되는 정도에 따라 온도가 차이나게 되며, 그 흡수정도는 표층토와 대기의 수분 함량에 따라 좌우되는데, 토양표면을 통한 증발 정도가 심하여 상대적으로 표층토의 수분함량이 매우 낮아 비열이 대기 보다 낮기 때문에 온도 상승 폭이 커지게 되는 것에 기인되었다고 판단된다.

Conclusions

경기도 수원시 당수동 포장에서 2014년 고추 (품종명 : PR 일거양득)를 노지재배 하면서 기온, 고추 잎 및 재배지 토양 표면온도의 일중 변화를 분석한 결과는 다음과 같다 : 고추 정식 1 개월 후의 고추 잎 표면온도는 일중 최대 27.80, 최소 11.40 및 일 평균 19.01°C 이었으며, 기온보다 각각 0.10, 7.60 및 3.86°C 낮았고, 토양 표면 온도 보다 각각 15.00, 0.00 및 4.38°C 낮았다. 또한, 기온, 고추 잎 및 토양 표면온도의 일중시각 (E&E time : Kmin.) 별 실측치와 식 (10)과 같은 형태의 E&E Model에 의한 예측치와의 평균편차는 각각 0.64, 1.82 및 4.77°C이었다.

$$T = a \cdot \sin [b \cdot (x + c)] + d \quad (10)$$

단, T는 온도(°C), x는 E&E time (Kmin.), a, b, c, d는 계수임.

기온, 고추 잎 및 토양 표면온도의 scale factor에 대한 실측치와 예측치는 고도의 유의성 있는 1 : 1 line과의 일치

성을 보였다. 기온과 고추 잎 표면온도와의 차이는 고추 잎 표면온도에 대하여 직선적인 감소 경향의 상관관계를 나타내었다. 고추 재배지 토양 표면온도와 고추 잎 표면온도와의 차이는 토양 표면온도에 대하여 직선적인 증가 경향의 상관관계를 나타내었다.

고추 재배지 토양 표면온도와 기온과의 차이는 토양 표면온도에 대하여 직선적인 증가 경향의 상관관계를 나타내었다.

References

- Eom, K.C., E.R. Son, and K.S. Ryu. 1990. Changes in evapotranspiration and soil water status to vinyl mulching. *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 23(2):100-106.
- Eom, K.C., K.C. Song, K.S. Ryu, Y.K. Sonn, and S.E. Lee. 1995. Model equations to estimate the soil water characteristics curve using scaling factor. *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 28(3):227-232.
- Eom, K.C. and K.R. Eom. 2008. *Mathematics for agricultural sciences*. Daewon Publishers, Korea, Seoul. 438-491 (In Korean).
- Eom, K.C. and H.Y. Eom. 2013. Estimation model of the change in dairy leaf surface temperature using scaling technique. *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 46(5):359-364.
- Hillel, D. and D.E. Erick. 1990. *Scaling in soil physics : Principles and applications*. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 300-318.
- Miller, E.E. and R.D. Miller. 1955a. Theory of capillary flow : I. Practical implications. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19:267-271.
- Miller, E.E. and R.D. Miller. 1955b. Theory of capillary flow : II. Experimental information. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19:271-275.
- Lal, R. and Shukla M. 2004. *Principles of soil physics*. Marcel Dekker, Inc. USA. 515-555.
- Patricia, M.T. and D.R. Nielsen. 1984. Scale factors in soil science. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:953-959.
- Scott, H.D. 2000. *Soil physics agricultural and environmental applications*. Iowa State University Press. Ames. IA.