

인삼밭 해가림 구조물 내부의 미기상 예측 통계 모델 개발

이변우^{1*}, 이규중¹, 이동윤², 장수원²

¹서울대학교 식물생산과학부, ²KT&G 중앙연구원

Development of statistical model for estimation of microclimate under shading structure of ginseng field

B. W. Lee^{1*}, K. J. Lee¹, D. Y. Lee², S. W. Jang²

¹Department of Plant Science, Seoul National University, ²KT&G Central Research Institute

(Correspondence: leebw@snu.ac.kr)

1. 서 언

인삼은 일반 작물과 달리 비교적 낮은 광도를 필요로 하는 반음지성 작물이다. 이러한 특성으로 인해 해가림 구조물을 이용하여 외부와 반격리된 인위적 환경에서 재배된다. 해가림 구조물 하부의 미기상은 직접적으로 인삼의 생장에 영향을 주기 때문에 미기상을 정확히 예측하고 인삼의 생장에 가장 알맞은 환경이 되도록 조절하는 것은 인삼의 수량성과 품질 향상에 매우 중요하다. 그러나 인삼밭의 해가림 구조물에서 일어나는 물리적 과정을 수식화 하여 외부기상 조건의 변화에 따른 해가림 내부 미기상의 변화를 예측하기 위한 모델 개발에 대한 연구는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 외부 기상조건과 해가림망의 광학적 물리적 특성만을 고려하여 내부 미기상을 예측할 수 있는 미기상 예측 통계 모델을 작성하고 그 정확도를 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 미기상 관측

전북 정읍시 소성면 화룡리(N 35° 34' 23", E126° 46' 28": H=40m)와 전북 고창군 고수면 우평리(N 35° 25' 07", E 126° 39' 45": H=60m) 등 2개소의 인삼밭을 선정하여 해가림구조 내외부의 풍향·풍속, 온도, 습도, 일사량, 강우량, 순복사량, 토양온도, 토양수분, 엽면수분지속시간 등을 2011년 5월4일 ~ 12월 초까지 관측하였다. 해가림 내외부의 기상관측 요소의 측정은 기상측정센서를 data logger(Campbell Scientific Inc.)에 연결하여 10초마다 관측하여 1시간의 평균치를 기록하였다. 정읍은 5월 20일 이후는 해가림망(흑2)을 추가로 설치하여 2중으로 해가림망이 설치되었고, 고창은 관측기간 내내 2중{4중 해가림망(흑2청2)+2중 해가림망(흑2)}으로 해가림망이 설치되어 있었다.

2.1 통계모델의 변수 추정

SAS 통계 패키지의 PROC NLIN(비선형회귀절차) 등을 이용하였다.

3. 결 과

3.1 내부 기온 예측

인삼밭 내부의 기온(T_{in} ; °C)에 영향을 주는 요소로서 외부기온(T_{out} ; °C), 외부 일사량(SOL_{out} ; Wm^{-2}), 상대습도(RH_{out} ; %), 풍속(W_{out} ; ms^{-1}), 하루 중 시간(t), 풍향(Wd ; degree) 등을 매개변수로 하여 내부 기온을 예측할 수 있는 비선형 회귀모델을 고창과 정읍 실험지의 시간별 자료를 이용하여 작성하였다.

$$T_{in} = 0.83T_{out} + 1.05 + (Wd - 156.4 / 180) - 0.1696 \sin(0.262(t - 7.1)) + 5.779 * (1.92 \times 10^{-4} SOL_{out} + 3.51 \times 10^{-3} RH_{out} + 1.63 \times 10^{-2} W_{out} - 0.17) \quad (n=5,905 \quad R^2=0.986)$$

Fig. 1에서 보는 바와 같이 고창의 경우 추정의 정밀도(precision)와 정확도(accuracy)는 높은 편이나 고온 역에서 정확도가 다소 떨어지는 경향을 보였다. 정읍은 추정치와 실측치 간의 회귀계수가 1보다 낮아 정확도는 다소 떨어졌으나 정밀도(R^2)는 매우 높았다.

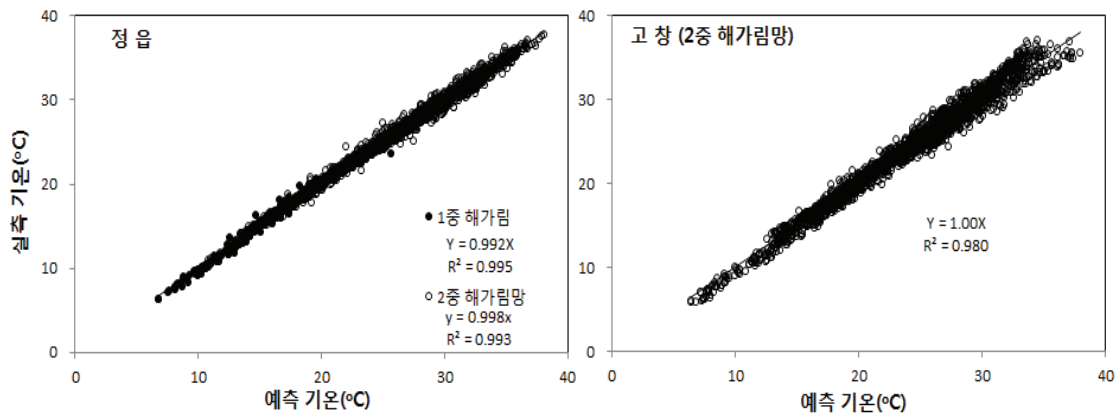


Fig. 1. 인삼밭 해가림 구조 하부의 시간별 평균 기온 실측치와 예측치간 비교

3.2 내부 상대습도 예측

해가림구조 내부의 상대 습도(RH_{in} ; %)를 예측하기 위하여 내부 수증기압(VP_{in} ; hPa)을 외부 수증기압(VP_{out} ; hPa), 하루중 시간(t), 외부기온, 외부풍속 등을 매개변수로 하는 비선형 회귀모델을 고창과 정읍 실험지의 시간별 자료를 이용하여 작성하였다.

$$VP_{in} = VP_{out} + (\sin(0.262(t - 5.4)) + 1.218) \times (4.88 \times 10^{-2} T_{out} + 4.07 \times 10^{-1} W_{out} - 2.03 \times 10^{-2} VP_{out} - 0.15) \quad (n=5,905 \quad R^2=0.993)$$

내부의 상대습도(RH_{in} ; %)는 위에서 추정된 내부 상대습도와 앞의 내부 온도 추정식으로부터 추정된 내부온도(T_{in})으로부터 Titten의 포화수증기압 곡선식을 이용하여 다음과 같이 예측 모델을 작성하였다.

$$RH_{in} = VP_{out} / (6.11e^{17.27T_{in}} / (T_{in} + 237)) \times 100 \quad (n=5,905 \quad R^2=0.976)$$

모델의 예측치와 실측치 간의 직선 회귀 계수가 지역과 해가림망 설치 상황에 따라 근소한 차이를 보였으나, 고창과 정읍 모두 매우 높은 결정계수를 보여 두 지역 모두 모델의 정밀도는 매우 높았다 (Fig. 2).

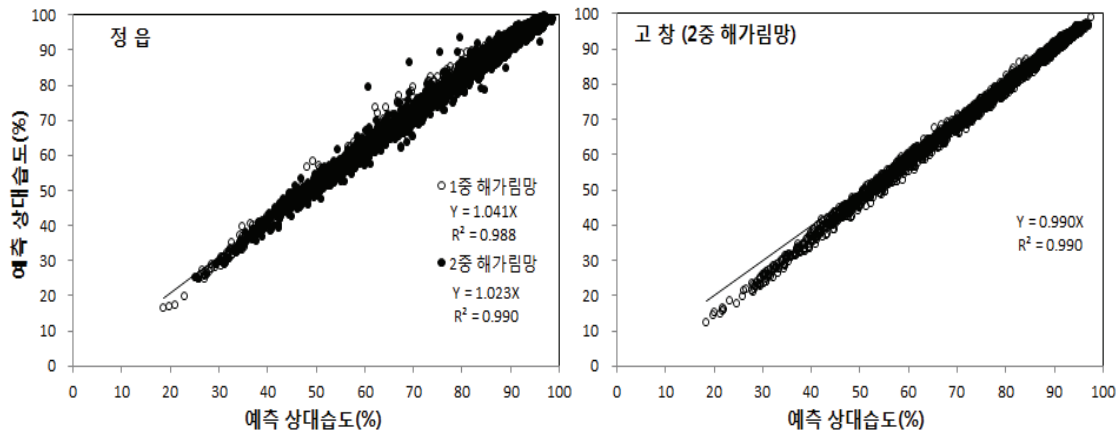


Fig. 2. 인삼밭 해가림 구조 하부의 시간별 평균 상대습도 실측치와 예측치간 비교

3.3 내부 일사량 예측

해가림망을 통해서 들어오는 일사는 이 등 (2011)의 모델을 이용하여 계산하였으며 개방 공간을 통해서 들어오는 일사는 잔차 분석을 통해서 다음과 같이 모델을 작성하였다. 개방공간을 통한 산란광의 투과는 uniform overcast sky를 가정하면 태양 방위에 관계없이 일정한 비율로 들어오고 산란광의 양은 대기의 투과율에 의존하는 것으로 가정하였다. 직사광의 경우는 태양광이 개방공간을 지날 때만 투과되므로 태양방위와 대기 투과율에 지배되는 것으로 가정하였다.

$$\begin{aligned} Tr_{dif,free} &= 0.093 + 0.060A_{tr} - 0.265A_{tr}^2 \\ Tr_{dir,free} &= 0, \text{ if solar azimuth}(\psi) < 96^\circ \\ Tr_{dir,free} &= -1.375A_{tr} + 0.5429\psi - 2.69 \times 10^{-3}\psi^2 - 25.54 \end{aligned}$$

모델은 1중 및 2중 해가림망 피복 모두의 경우에 대해 해가림 구조 밑의 시간별 일사 투과율과 일사량을 잘 예측하는 것으로 나타났다. 또한 해가림 구조 밑의 일사 투과 및 일사량의 일변화 패턴을 맑은 날과 흐린 날 및 1중과 2중 해가림 어느 경우에도 모델이 잘 묘사하는 것으로 판단되었다 (Fig. 3).

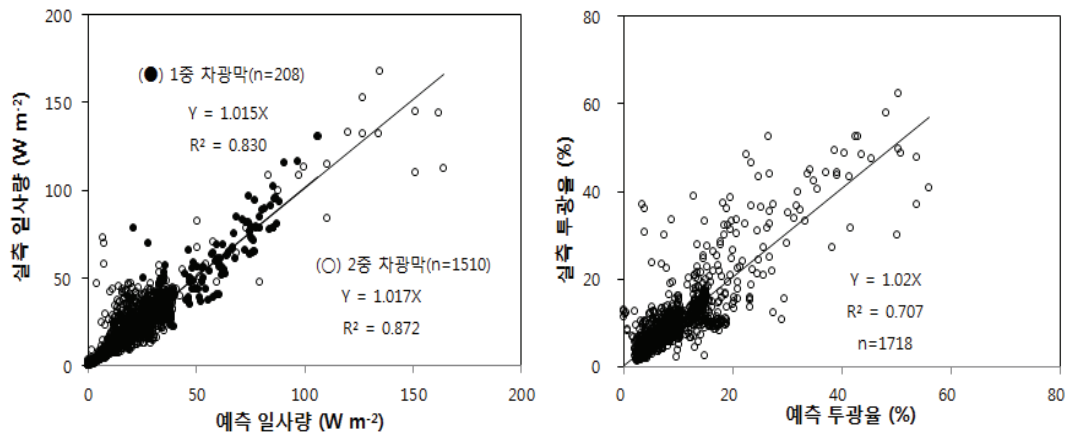


Fig. 3. 인삼밭(정읍) 해가림 구조 밑의 일사 시간별 일사 투과율과 투과량의 실측치와 예측치간 비교

3.4 내부풍속 예측

외부 풍속(W_s)과 풍향(W_d)으로부터 해가림 구조물 내부의 시간별 풍속(U) 예측모델의 계수를 추정하였다. 모델은 외부 풍속과 풍향으로부터 해가림 구조물 내부의 풍속을 비교적 정확하게 추정하였다 (Table 1). 해가림망의 종류와 층수에 따라서 풍속이 달랐는데 4중(흑2청2) 해가림망은 3중(흑1청2) 해가림망 보다 풍속을 더 약화시켜 3중 해가림망의 92%였으며, 추가로 흑3중망을 피복하면 풍속이 약 44% 약화되는 것으로 추정되었다.

Table 1. 해가림망 내부 풍속(U , m/s) 예측 모델 모수 및 해가림망 별 계수(f) 추정 결과

지역	해가림망	관측수(n)	f	R2
고창	4중(흑2청2)망 + 흑2중망	2,965	0.52	0.811
정읍	5월19일이전: 3중(흑1청2)망	384	1.00	0.742
	5월19일이후: 3중(흑1청2)망 + 흑2중망	2,581	0.56	0.805
기본 모델	$W_{s,crit} = -1.122(W_d - 195.8 /360) + 0.885$ $W_s > W_{s,crit}; U = f(W_d - 195.8 /360)1.326(0.097(W_s - W_{s,crit}) + 1.32)(W_s - W_{s,crit})$ $W_s \leq W_{s,crit}; U = 0$ <p>여기서 f는 해가림망 종류에 따라서 결정되는 상수</p>			

인용문헌

Tanny, J., M. Moller, and S. Cohen, 2009: Aerodynamic properties of boundary layers along screens. *Biosystems engineering* **102**: 171-179.

이변우, 2011: 외부기상자료 활용 해가림 내 미기상 환경 예측모델 개발 연구. 한국인삼공사. 최종 연구보고서.