

엽장, 엽폭, 엽병장 및 SPAD 값을 이용한 온실 재배 어원 망고의 엽면적, 엽생체중과 엽건물중 추정

정대호¹ · 조영열² · 이준구³ · 손정익^{1*}

¹서울대학교 식물생산과학부, ²제주대학교 원예환경전공, ³전북대학교 원예학과

Estimation of Leaf Area, Leaf Fresh Weight, and Leaf Dry Weight of Irwin Mango Grown in Greenhouse using Leaf Length, Leaf Width, Petiole Length, and SPAD Value

Dae Ho Jung¹, Young Yeol Cho², Jun Gu Lee³, and Jung Eek Son^{1*}

¹Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²Major of Horticultural Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

³Department of Horticulture, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

Abstract. Due to complicate canopy structures of Irwin mangoes grown in greenhouses, it is difficult to determine their growth parameters accurately. Leaf area, leaf fresh weight, and leaf dry weight are widely used as indicators to diagnose the tree growth. Therefore, it is necessary to establish models that can non-destructively estimate these growth indicators. The objective of this study was to establish regression models to estimate leaf area, leaf fresh weight, and leaf dry weight of Irwin mangoes (*Mangifera indica* L. cv. Irwin) by using leaf length, leaf width, petiole length, and SPAD value. The input values of leaf length, leaf width, petiole length, and SPAD value of 6-year old Irwin mangoes were measured, and the corresponding output values of leaf area, leaf fresh weight, and leaf dry weight were also measured. After 14 models were selected among the existing models, coefficients of the models were estimated by regression analysis. Three models with higher R² and lower RMSE values selected. In validation the R² values for the selected models were 0.967, 0.743, and 0.567 in the leaf area, leaf fresh weight, and leaf dry weight models, respectively. It is concluded that this models will be helpful to conveniently diagnose the growth of the Irwin mango.

Additional key words : canopy structure, light interception, non-destructive method, regression model

서 론

망고(*Mangifera indica* L.)는 생산량 기준으로 전 세계적으로 30위 안에 드는 주요 작물 중의 하나이다. 국내에서 유통되는 대부분의 망고는 노란색을 띠는 카라바오 망고(Carabao mango)이며 약간의 신맛을 내는 특징이 있다(Naef 등, 2006). 최근 제주도와 여수, 통영 등의 지역에서 어원 망고(*Mangifera indica* L. cv. Irwin) 품종이 시설 재배를 통해 생산되기 시작했으며, 수입산에 비해 신선한 상태로 국내 시장에 유통되고 있다(An 등, 2015; Park 등, 2014). 어원 망고는 껍질이 붉기 때문에 애플 망고(Apple mango)라고도 부르는데, 당도가 높고

즙이 많으며, 향기가 진한 특징이 있어 선물용 등으로 각광받고 있다.

어원 망고의 시설 재배는 일본에서 처음 시작되어 한국에 도입된 것으로 알려져 있다. 그러나 한국과 일본은 열대 과수인 망고의 생육에 적합하지 않은 겨울철 기후 특성을 나타내기 때문에, 대부분의 망고 재배 농가는 겨울철 난방이 가능한 온실에서 재배하고 있다(Honsho 등, 2012). 어원 망고를 주로 재배하는 제주도 지역의 온실은 밀폐성이 높은 구조를 지니며, 잦은 태풍으로 인한 피해를 방지하기 위해 다량의 철골 구조물을 사용하고 있다. 이와 같이 온실 내부의 공간적 제약으로 인하여, 망고 과수는 주기적인 유인과 전정을 통해 낮은 수고를 갖는 배상형으로 재배된다(Yonemoto, 2006). 망고를 배상형으로 재배하는 경우에도 망고는 수고 2m 이상 자라기 때문에 수관의 내부구조는 매우 복잡한 형태를 보이

*Corresponding author: sjeenv@snu.ac.kr

Received July 28, 2016; Revised September 01, 2016;

Accepted September 01, 2016

게 된다. 게다가 현재까지 어원 망고 재배 시에 사용할 수 있는 생육 진단 지표를 연구한 결과가 거의 없는 실정이다.

엽면적, 엽생체중과 엽건물중은 작물의 광합성에 중요한 역할을 하는 지표이며, 수광량, 작물 생육, 과수 생산 수익의 지표로도 사용할 수 있는 것으로 알려져 있다 (Smart, 1985; Williams, 1987). 그러나 이러한 생육 지표를 측정하기 위해서는 작물의 잎을 파괴하여 조사하여야 하는 단점이 있다. 따라서 비 파괴적인 방식을 통해 측정할 수 있는 지표를 통해 엽면적, 엽생체중과 엽건물중을 추정할 수 있는 간편한 방식이 필요하다(Peksen, 2007). 이러한 지표에는 엽장, 엽폭과 엽병장 등이 있으며, 여러 작물에서 엽면적을 추정하는 데 사용할 수 있다는 연구 결과가 보고되어 있다(Gamiely 등, 1991; Montero 등, 2000). 그러나 엽생체중과 엽건물중을 추정하는 데에는 엽장과 엽폭 등의 지표로 한계가 있다는 것이 알려져 있다. 엽록소 함량은 잎의 질소 함량과 관계가 있기 때문에 엽생체중과 엽건물중과 상관관계를 갖는다. 엽록소 함량을 나타내는 SPAD 값은 잎을 파괴하지 않고서도 광학적인 방식을 이용해 측정이 가능하며, 엽생체중과 엽건물중을 나타내는 지표로 사용하기에 용이하다(Le Bail 등, 2005). 이러한 지표들간의 관계를 몇 가지 모델식에 대하여 회귀분석을 실시함으로써 회귀모델을 확립할 수 있으며, 작물의 생육을 나타내는 지표로 활용하는 것이 가능하다(Cho 등, 2007).

따라서 본 연구에서는 엽장, 엽폭, 엽병장과 SPAD 값 등의 비 파괴적 생육 진단 지표를 이용하여 어원 망고의 엽면적, 엽생체중과 엽건물중을 추정하는 모델을 확립하는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

1. 재배 조건

측정 대상인 어원 망고는 제주특별자치도 서귀포시 안덕면 화순리에 위치한 행복나눔영농조합(33.304°N, 126.626°E)의 면적 2,640m² 연동 플라스틱 필름 온실에서 재배하였다. 어원 망고는 6년생으로 대형 용기(높이 40cm, 지름 80cm)에서 재배하였다. 재배 온실은 폴리에틸렌폼과 부직포가 혼합된 보온커튼이 설치되었으며, 내부 기온은 25-30°C, 습도는 55-60% 정도로 유지되었다. 관수는 4-5일에 한번 하루 15분간 30L의 관수를 실시하였다. 어원 망고는 1-2월의 개화기에 수분을 실시하며, 2월 중순 이후 과실이 비대하여 5월경 수확할 수 있도록 재배하였다. 1년에 한 번 정단부에서 새로 자란 가지를 선정하여 3개의 측지가 발생하도록 유도하며, 온실 철골 구조물에 유인줄을 이용하여 가지를 유인하였다.

2. 생육 지표 측정

엽면적, 엽생체중과 엽건물중의 추정을 위한 지표를 측정하기 위하여 총 20그루의 어원 망고 개체에서 무작위로 잎을 선발하였다. 잎의 위치에 따른 차이를 줄이고자 각 마디 별, 방위 별로 무작위로 잎을 선정하였으며, 총 127장의 잎에 대하여 측정을 실시하였다. 잎은 생육이 충분히 진행된 성엽에 대해서만 측정하였으며, 측정 시기에 따른 차이를 줄이고자 1월부터 5월에 걸쳐 잎을 선발하여 실험에 사용하였다.

6년생 어원 망고 잎의 생육 진단 지표로 기존에 널리 사용되고 있는 엽장, 엽폭과 SPAD 값을 선정하였다. 추가적으로 잎의 생육 진단 지표로 사용할 수 있을 것이라 판단되는 엽병장을 선정하였다. 엽장은 엽병이 끝나는 지점으로부터 잎의 반대편 끝까지의 길이를 측정하였으며, 휘어진 잎에 대해서는 잎을 평평하게 누른 후 측정하였다. 엽폭은 엽장 측정 방향과 직각을 이루는 방향으로 측정하였으며, 잎의 중간 부분에서 가장 긴 값을 갖는 최대 엽폭 값을 측정하였다. 엽장과 엽폭 값의 비율인 엽형비(=엽장/엽폭)는 마디 수를 기준으로 상단부, 중단부와 하단부 잎에 대해 각각 계산하여 엽 위치별로 생육에 차이가 있는 지 확인하였다. 엽병장은 줄기에서 잎이 시작되는 지점까지의 길이를 측정하였다(Fig. 1). SPAD 값은 엽록소함량 측정기(SPAD-502, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였으며, 각각의 잎에서 무작위로 선정된 10개 위치에 대하여 측정한 값들의 평균을 사용하였다.

앞서 측정한 생육 진단 지표들을 이용하여 추정할 대상인 엽면적, 엽생체중과 엽건물중을 측정하였다. 엽면적은 LI-COR 사의 LI-3100 엽면적 측정기(LI-COR, Lincoln, NE, USA)을 이용하여 측정하였다. 엽생체중은 잎을 수확한 직 후 측정하였으며, 엽건물중은 80°C 오븐에서 7일간 건조한 후 측정하였다. 추가적으로 생육 진단 지표로 널리 사용되는 엽면적지수(Leaf area index; LAI)를 측정하기 위하여 LAI-2200 엽면적 지수 측정기(LI-COR, Lincoln, NE, USA)를 이용하였다.

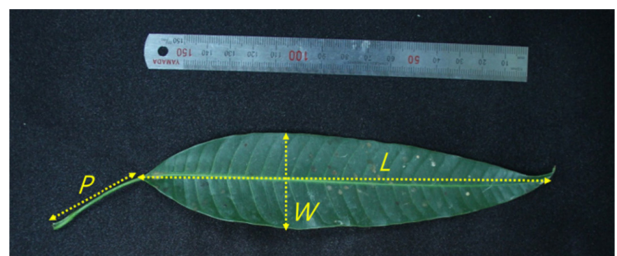


Fig. 1. Measurements of leaf length (L), leaf width (W), and petiole length (P) of Irwin mango leaves.

3. 회귀모델 선정

Cho 등(2007)이 제시하여 사용중인 기존의 모델식을 포함하여 엽면적, 엽생체중과 엽건물중을 추정하기 위한 회귀모델 14종을 선정하였다(Table 1). 회귀모델은 엽장(L), 엽폭(W)과 SPAD 값(S)을 변수로 하여 선형 결합식으로 표현되어 엽면적, 엽생체중과 엽면적을 추정하기 위한 것이다. 회귀모델에서는 엽장과 엽폭과 같이 엽면적에 대해 높은 상관관계를 갖는 값은 두 항의 곱으로 표현할 수 있으나, 엽병장과 SPAD 값과 같이 상관관계가 적은 값은 두 항의 곱으로 표현하지 않았다. 엽장과 엽폭을 포함하는 일차결합 형태의 모델식(Eq. 2)과 엽장과 엽폭의 곱 또는 엽장과 엽폭의 제곱 항으로 표현된 이차 항이 존재하는 모델식(Eqs. 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9)의

Table 1. Regression models for estimating leaf area (LA), fresh weight (FW), and dry weight (DW).

Regression model ^a	Equation No.
$F = a + bLW$	(1)
$F = a + bL + cW$	(2)
$F = a + bL + cLW$	(3)
$F = a + bW + cLW$	(4)
$F = a + bP + cLW$	(5)
$F = a + bL + cW + dLW$	(6)
$F = a + bL + cW^2 + dLW$	(7)
$F = a + bL + cL^2 + dW^2$	(8)
$F = a + bW + cL^2 + dW^2$	(9)
$F = a + bP + cL^2 + dW^2$	(10)
$F = a + bLW + cLWS$	(11)
$F = a + bLS + cLWS$	(12)
$F = a + bWS + cLWS$	(13)
$F = a + bP + cLWS$	(14)

^aF, leaf area, fresh weight, or dry weight; L, leaf length; W, leaf width; P, petiole length; S, SPAD value.

경우는 그 형태가 간결하여 기존에 널리 사용되고 있는 엽면적 추정 모델식이다. 추가적으로 엽병장을 변수로 포함시키기 위하여 수정된 모델식(Eqs. 5, 10)을 포함시켰다. 또한 SPAD 값을 포함하여 엽생체중과 엽건물중을 표현하는 데 적합한 것으로 알려진 모델식(Eqs. 11, 12, 13)을 사용하였으며, 추가적으로 엽병장을 변수로 포함시킨 모델식(Eq. 14)을 사용하였다.

선정한 모델식 14종에 대하여 회귀계수를 결정하고자 SPSS 통계 프로그램(IBM, New York, NY, USA)을 이용하여 회귀분석을 실시하였으며, Sigmaplot(Systat Software, San Jose, CA, USA)을 이용하여 모델의 그래프를 작성하였다. 엽면적, 엽생체중과 엽건물중에 대하여 각각 회귀분석 결과 R² 값이 가장 높게 나타나는 모델을 선정하였으며, R² 값이 같은 경우 평균제곱근오차(RMSE) 값이 낮은 모델을 우선적으로 선정하였다.

4. 회귀모델 검증

엽면적, 엽생체중과 엽건물중을 표현하는 모델 중 R² 와 RMSE 값을 고려하여 통계적으로 가장 신뢰도가 높은 모델에 대하여 검증 절차를 진행하였다. 모델로 예측한 엽면적, 엽생체중과 엽건물중 값과 회귀분석에 사용되지 않은 36개의 잎의 생육 지표의 실측값을 비교하였다. 1:1 선에 대해 회귀분석을 실시하였으며, R² 값을 확인하여 모델의 신뢰도를 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 엽장, 엽폭과 엽면적, 엽생체중, 엽건물중과의 관계

127매의 어윈 망고 잎에 대하여 엽장과 엽폭의 측정값과 엽면적, 엽생체중과 엽건물중 측정값과의 관계를 3차원 그래프를 작성하였다(Fig. 2). 엽장과 엽폭이 증가함에 따라 엽면적은 선형적으로 증가하였고, 엽생체중과 엽건물중도 선형적으로 증가하였다. 127매의 어윈 망고의 엽면적은 24cm²부터 202cm²의 범위이었으며, 엽형비

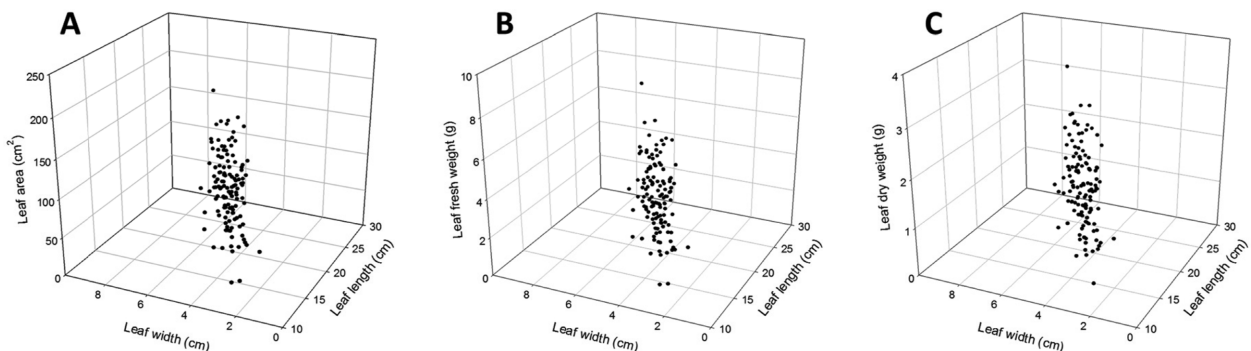


Fig. 2. Relationships among leaf length, leaf width, and leaf area (A); leaf fresh weight (B); and leaf dry weight (C) of Irwin mango (n = 127).

는 상단부에서 4.68±0.40, 중단부에서 4.21±0.42, 하단부에서 4.28±0.65로 나타났다. 엽생체중은 0.75g부터 9.48g, 엽건물중은 0.308g부터 3.237g의 범위이었다. 표본을 추출한 6년생 어원 망고의 엽면적지수는 2.83으로 나타났다. 큐티클화가 진행된 성엽의 경우, 어원 망고 수관의 위치에 따른 엽형비는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

2. 엽면적, 엽생체중과 엽건물중 추정 모델 선정

엽면적과 엽장, 엽폭, 엽병장과 SPAD 값의 관계에 대한 14종의 회귀모델에 대하여 회귀분석을 실시하였다(Table 2). 전체 회귀모델에 대하여 R² 값이 0.9 이상으로 나타나 추정 지표들과 엽면적 간의 상관관계에 대해 다양한 모델이 적용 가능한 것으로 판단되었다. 이 중 가장 높은 R² 값을 나타낸 모델은 Eqs. 6, 7, 8, 9이며, 이 때 R² 값은 0.971로 나

Table 2. Coefficients of the regression models for estimating leaf areas (*LA*) of Irwin mango (*n* = 127).

Regression model ^a	R ²	RMSE
$LA = 7.736 + 0.635LW$	0.966	24.652
$LA = -66.768 + 3.655L + 13.255W$	0.960	28.783
$LA = -8.430 + 1.307L + 0.527LW$	0.970	22.083
$LA = 5.385 + 1.020W + 0.611LW$	0.966	24.566
$LA = 6.586 + 0.872P + 0.613LW$	0.967	23.675
$LA = -22.410 + 1.691L + 4.002W + 0.398LW$	0.971	20.992
$LA = -27.194 + 3.062L + 0.909W^2 + 0.142LW$	0.971	21.329
$LA = -28.809 + 3.209L + 0.013L^2 + 1.214W^2$	0.971	21.358
$LA = -14.623 + 8.074W + 0.085L^2 + 0.452W^2$	0.971	20.842
$LA = 4.899 + 0.878P + 0.086L^2 + 0.452W^2$	0.968	22.869
$LA = 7.529 + 0.658LW + 0.001LWS$	0.966	24.605
$LA = 25.431 - 0.012LS + 0.010LWS$	0.915	61.997
$LA = 30.743 - 0.103WS + 0.011LWS$	0.921	57.587
$LA = 17.757 + 0.009P + 0.009LWS$	0.913	62.842

All variables in the models above are significant at *P* = 0.05.
^a*L*, leaf length; *W*, leaf width; *P*, petiole length; *S*, SPAD value.

Table 3. Coefficients of the regression models for estimating leaf fresh weight (*FW*) of Irwin mango (*n* = 127).

Regression model ^a	R ²	RMSE
$FW = 0.117 + 0.023LW$	0.861	0.149
$FW = -2.424 + 0.103L + 0.575W$	0.843	0.169
$FW = 0.199 - 0.007L + 0.024LW$	0.861	0.149
$FW = -0.110 + 0.098W + 0.021LW$	0.862	0.148
$FW = -0.017 + 0.101P + 0.020LW$	0.873	0.136
$FW = -0.164 + 0.003L + 0.104W + 0.020LW$	0.862	0.148
$FW = -0.457 + 0.055L + 0.032W^2 + 0.010LW$	0.862	0.148
$FW = -0.244 + 0.034L + 0.002L^2 + 0.052W^2$	0.863	0.147
$FW = -0.215 + 0.134W + 0.002L^2 + 0.040W^2$	0.863	0.147
$FW = -0.005 + 0.100P + 0.002L^2 + 0.046W^2$	0.874	0.135
$FW = 0.273 + 0.006LW + 0.0002LWS$	0.886	0.122
$FW = 0.298 + 0.0001LS + 0.0003LWS$	0.883	0.126
$FW = 0.295 + 0.0005WS + 0.0003LWS$	0.883	0.126
$FW = 0.303 + 0.073P + 0.0003LWS$	0.889	0.119

All variables in the models above are significant at *P* = 0.05.
^a*L*, leaf length; *W*, leaf width; *P*, petiole length; *S*, SPAD value.

Table 4. Coefficients of the regression models for estimating leaf dry weight (*DW*) of Irwin mango (n = 127).

Regression model ^a	R ²	RMSE
$DW = 0.035 + 0.011LW$	0.718	0.085
$DW = -1.206 + 0.050L + 0.282W$	0.711	0.087
$DW = 0.009 + 0.002L + 0.011LW$	0.718	0.085
$DW = -0.160 + 0.085W + 0.009LW$	0.720	0.084
$DW = -0.085 + 0.091P + 0.009LW$	0.754	0.074
$DW = -0.362 + 0.012L + 0.106W + 0.008LW$	0.721	0.084
$DW = -0.435 + 0.044L + 0.022W^2 + 0.002LW$	0.720	0.085
$DW = -0.307 + 0.032L + 0.001L^2 + 0.012W^2$	0.720	0.085
$DW = -0.342 + 0.148W + 0.001L^2 + 0.012W^2$	0.722	0.084
$DW = -0.086 + 0.091P + 0.001L^2 + 0.019W^2$	0.754	0.074
$DW = 0.200 - 0.0065LW + 0.0003LWS$	0.817	0.055
$DW = -0.481 + 0.0008LS + 0.00009LWS$	0.826	0.053
$DW = -0.295 + 0.003WS + 0.001LWS$	0.820	0.054
$DW = -0.295 + 0.003WS + 0.001LWS$	0.820	0.054

All variables in the models above are significant at $P = 0.05$.
^aL, leaf length; W, leaf width; P, petiole length; S, SPAD value.

타났다. 동일한 R² 값을 갖는 모델 중 RMSE가 가장 작은 것은 Eq. 9이었으며, RMSE는 20.842로 나타났다. Eq. 9에는 엽병장, SPAD 값이 변수로 포함되지 않았기 때문에, 엽면적 추정에 엽장과 엽폭이 크게 관여한다고 판단하였다.

엽생체중과 엽장, 엽폭, 엽병장과 SPAD 값의 관계에 대한 14종의 회귀모델에 대하여 회귀분석을 실시하였다 (Table 3). 생체중에 적용된 회귀모델에서 R² 값이 가장 높은 모델식은 Eqs. 14, 10, 5 순으로 나타났다. 세 모델식에는 공통적으로 엽병장을 변수로 포함하고 있는 특징을 나타내었다. 세 모델식 중 가장 높은 R² 값을 갖는 것은 Eq. 14이었으며, 이 때 R² 값은 0.889, RMSE는 0.119로 나타났다.

엽건물중과 엽장, 엽폭, 엽병장과 SPAD 값의 관계에 대한 14종의 회귀모델에 대하여 회귀분석을 실시하였다 (Table 4). 건물중에 적용된 회귀모델에서 R² 값이 가장 높은 모델식은 Eqs. 14, 13, 10, 5 순으로 나타났다. Eq. 13을 제외한 세 모델식에서 공통적으로 엽병장을 변수로 포함하고 있는 특징을 보였다. 이 중 Eqs. 13, 14는 가장 높은 0.820의 R² 값을 나타내었으며, RMSE도 0.054로 동일하였다. Le Bail 등(2005)이 연구한 생체중과 건물중의 관계로부터, 엽병장과 SPAD 값을 포함하는 모델이 어린 망고의 엽생체중과 엽건물중을 표현하는 모델식으로 적합할 것으로 판단하였다.

3. 엽면적, 엽생체중과 엽건물중 추정 모델의 검증
 엽면적을 표현하는 모델 중 가장 신뢰도가 높은 Eq.

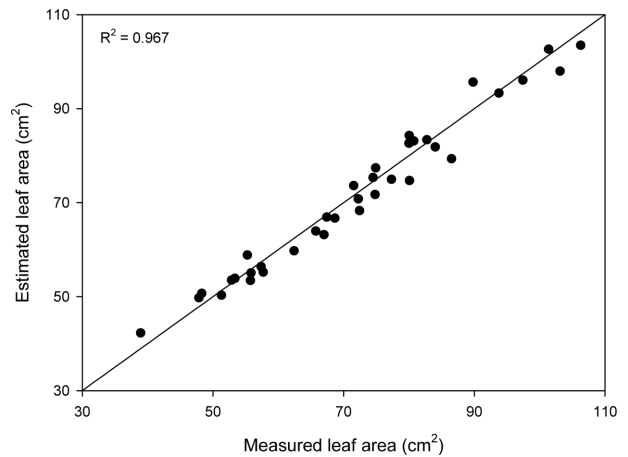


Fig. 3. Comparison of measured and estimated (using Eq. 9) leaf areas of Irwin mango (n = 36).

9를 사용하여 예측된 엽면적 값과 실제 36개 잎의 엽면적에 대하여 검증을 실시하였다(Fig 3). 1:1 선상에서 회귀분석을 실시한 결과 R² 값은 0.967로 나타나 모델의 신뢰성이 높은 것으로 판단되었다. 엽생체중을 표현하는 모델 중 가장 신뢰도가 높은 Eq. 14를 사용하여 예측된 엽생체중 값과 실제 36개 잎의 엽생체중에 대하여 검증을 실시하였다(Fig. 4). 1:1 선상에서 회귀분석을 실시한 결과 R² 값은 0.743으로 나타나 모델의 신뢰성이 높은 것으로 판단되었다. 마지막으로 엽건물중을 표현하는 모델 중 가장 신뢰도가 높은 Eq. 14를 사용하여 예측된

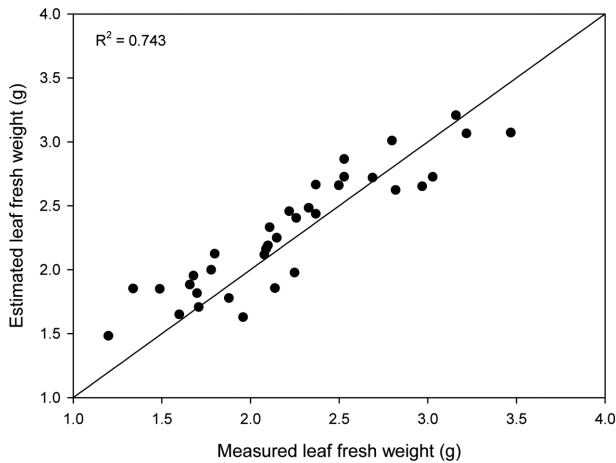


Fig. 4. Comparison of measured and estimated (using Eq. 14) leaf fresh weights of Irwin mango (n = 36).

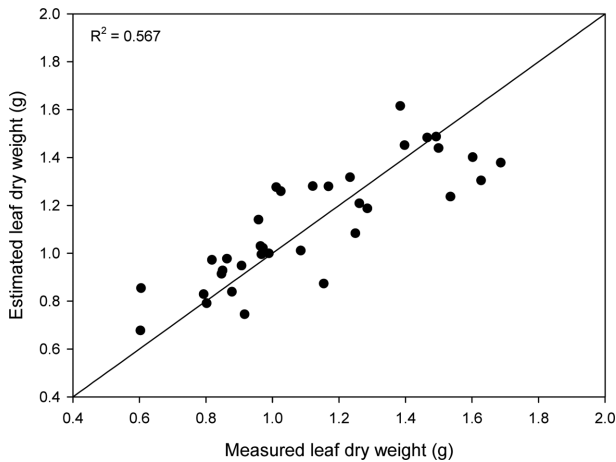


Fig. 5. Comparison of measured and estimated (using Eq. 14) leaf dry weights of Irwin mango (n = 36).

엽건물중 값과 실제 36개 잎의 엽건물중에 대하여 검증을 실시하였다(Fig. 5). 1:1 선상에서 회귀분석을 실시한 결과 R^2 값은 0.567로 나타나 엽면적과 엽생체중을 예측하는 모델에 비해 신뢰도가 낮았지만 선형적인 관계를 보임을 확인할 수 있었다.

엽면적은 작물의 수광이나 광합성 효율, 증발산, 시비 효과 등과 관계가 있는 중요한 지표이다(Blanco와 Folegatti, 2005). 작물의 엽면적을 전수 조사하는 것은 시간과 노동력이 많이 필요하기 때문에 최근에는 다양한 작물에서 엽면적을 추정하기 위한 비파괴적 방식에 대한 연구가 이루어졌다(Antunes 등, 2008; Lu 등, 2004; Serdar와 Demirsoy, 2006). 이러한 배경에서 엽면적 추정 모델은 최근 발전 중인 영상처리 기술을 접목하여

작물의 생육을 원격으로 조사할 수 있는 가능성을 제시하였다(O'neal 등, 2002). 분지 패턴이 일정하도록 인공적으로 유인과 전정을 하는 어원 망고는 타 작물에 비해 가지 당 엽수를 조사하여 개체 당 엽수를 계산하는 것이 유리하며, 엽면적 모델을 이용하여 개체 전체의 엽면적을 추정할 수 있게 된다. 엽면적지수는 이러한 문제를 간소화하여 작물의 생육과 품질, 증산량 등을 예측하는 지표로 사용할 수 있기 때문에 간편한 측정 방식들이 개발되고 있다(Confalonieri 등, 2013; Lee 등, 2013). 또한 광추적 기법을 이용하여 복잡한 수관 내부의 수광 패턴을 분석하는 방식이 활용됨에 따라 작물의 3차원 모델링을 수행할 때 엽면적 모델을 활용할 수 있을 것이다(Sinoquet 등, 1998). 따라서 작물의 생육을 예측하기 위하여 엽면적, 엽생체중과 엽건물중 등을 추정할 수 있는 정교한 모델을 선정하는 것이 중요하다.

적 요

온실에서 재배되는 어원 망고는 그 수관이 복잡하여 생육을 정확하게 진단할 수 있는 생육 지표 결정이 어렵다. 엽면적, 엽생체중과 엽건물중은 생육을 진단할 수 있는 지표이며, 이를 비파괴적으로 추정할 수 있는 모델 확립이 필요하다. 본 연구의 목표는 어원 망고 (*Mangifera indica* L. cv. Irwin)의 엽장, 엽폭, 엽병장, SPAD 값 등의 비파괴적 생육지표를 이용하여 엽면적, 엽생체중과 엽건물중을 추정하는 모델을 확립하는 것이다. 6년생 어원 망고의 성엽에 대하여 엽장, 엽폭, 엽병장과 SPAD 값을 측정하였으며, 이에 따른 엽면적, 엽생체중과 엽건물중을 측정하였다. 기존에 사용되는 모델식 중에서 14종의 모델을 선정하였으며, 회귀분석을 통해 각 모델의 계수를 추정하였다. 이 중에서 높은 R^2 과 낮은 평균제곱근오차 값을 보이는 세 모델식에 대하여 검증한 결과, R^2 값은 각각 0.967과 0.743, 0.567로 나타나 신뢰성이 있다고 판단되었다. 이러한 방법은 작물의 생육 지표로 편리하게 추정하는데 도움을 줄 수 있다.

추가 주제어 : 비파괴적 방법, 수광, 캐노피 구조, 회귀 모델

사 사

본 연구는 산업통상자원부에서 지원하는 “이중산업 융복합형 발전소 온배수 및 이산화탄소 활용 스마트 시스템 테스트 베드개발 과제(20142020103570)”의 일환으로 수행되었음.

Literature Cited

- An, M.R., Y.S. Keum, and S.K. Lee. 2015. Comparative analysis of volatile flavor compounds in Taiwan apple mango and Philippines carabao mango. *Korean Journal of Food Science and Technology* 47:191-197.
- Antunes, W.C., M.F. Pompelli, D.M. Carretero, and F.M. DaMatta. 2008. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). *Annals of Applied Biology* 153:33-40.
- Blanco, F.F., and M.V. Folegatti. 2005. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)* 62:4.
- Cho, Y.Y., S. Oh, M.M. Oh, and J.E. Son. 2007. Estimation of individual leaf area, fresh weight, and dry weight of hydroponically grown cucumbers (*Cucumis sativus* L.) using leaf length, width, and SPAD value. *Scientia Horticulturae* 111:330-334.
- Confalonieri, R., M. Foi, R. Casa, S. Aquaro, E. Tona, M. Peterle, A. Boldini, G. De Carli, A. Ferrari, G. Finotto, T. Cuarneri, V. Manzoni, E. Movedi, A. Nisoli, L. Paleari, I. Radici, M. Suardi, D. Veronesi, S. Bregaglio, G. Cappelli, M.E. Chiodini, P. Dominoni, C. Francone, N. Frasso, T. Stella, and M. Acutis. 2013. Development of an app for estimating leaf area index using a smartphone. Trueeness and precision determination and comparison with other indirect methods. *Computers and Electronics in Agriculture* 96:67-74.
- Gamiely, S., W.M. Randle, H.A. Mills, and D.A. Smittle. 1991. A rapid and nondestructive method for estimating leaf area of onions. *HortScience* 26:206.
- Honsho, C., M. Inada, K. Yuji, M. Tojiki, S. Kurogi, S. Kanzaki, and T. Tetsumura. 2012. Efficiency of hybrid formation by open-pollination of two cultivars in a closed plastic house and the effect of the male parent on fruit characteristics in mango. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 81:27-34.
- Le Bail, M., M.H. Jeuffroy, C. Bouchard, and A. Barbottin. 2005. Is it possible to forecast the gran quality and yield of different varieties of winter wheat from Minolta SPAD meter measurements. *European Journal of Agronomy* 23:379-391.
- Lee, J.W., J.N. Eom, W.H. Kang, J.H. Shin, and J.E. Son. 2013. Prediction of transpiration rate of lettuces (*Lactuca sativa* L.) in plant factory by Penman-Monteith model. *Protected Horticulture and Plant Factory* 22:182-187.
- Lu, H.Y., C.T. Lu, M.L. Wei, and L.F. Chan. 2004. Comparison of different models for nondestructive leaf area estimation in taro. *Agronomy Journal* 96:448-453.
- Montero, F.J., J.A. de Juan, A. Cuesta, and A. Brasa. 2000. Nondestructive methods to estimate leaf area in *Vitis vinifera* L. *HortScience* 35:696-698.
- Naef, R., A. Velluz, and A. Jaquier. 2006. The perfume of carabao mangoes (*Mangifera indica* L.): Identification of uncommon unsaturated fatty acid esters in the SPME of the intact fruit. *European Food Research and Technology* 222:554-558.
- O'neal, M.E., D.A. Landis, and R. Isaacs. 2002. An inexpensive, accurate method for measuring leaf area and defoliation through digital image analysis. *Journal of Economic Entomology* 95:1190-1194.
- Park, I.G., H.J. Yoon, M.A. Kim, K.Y. Lee, H.C. Park, and S.H. Kim. 2014. Effect on pollinating activities on mango flower by bumblebee (*Bombus terrestris*), honeybee (*Apis mellifera*) and oriental latrine fly (*Chrysomya megacephala*) in green house. *Journal of Apiculture* 29:235-243.
- Peksen, E. 2007. Non-destructive leaf area estimation model for faba bean (*Vicia faba* L.). *Scientia Horticulturae* 113: 322-328.
- Serdar, Ü and H. Demirsoy. 2006. Non-destructive leaf area estimation in chestnut. *Scientia Horticulturae* 108:227-230.
- Sinoquet, H., S. Thanisawanyangkura, H. Mabrouk, and P. Kasemsap. 1998. Characterization of the light environment in canopies using 3D digitising and image processing. *Annals of Botany* 82:203-212.
- Smart, R.E. 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality: a review. *American Journal of Enology and Viticulture* 36:230-239.
- Williams, L.E. 1987. Growth of 'Thompson Seedless' grapevines. I. Leaf area development and dry weight distribution. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 112:325-330.
- Yonemoto, Y. 2006. Tropical fruit. p. 100-106. In: the Japanese society for horticultural science (ed.). *Horticulture in Japan 2006*. Shoukadoh Publication, Kyoto.