

Short Communication



CrossMark

Open Access

## 엽록소 형광이미징 기술을 이용한 키위과일의 생체중 예측

이미경<sup>1</sup>, 유성영<sup>2\*</sup>, 김태완<sup>1,2</sup>, 구현희<sup>3</sup>

<sup>1</sup>국립한경대학교 응용자원환경학과, <sup>2</sup>국립한경대학교 식물생태화학연구소, <sup>3</sup>국립한경대학교 기후변화연구센터

### Application of Chlorophyll Fluorescence Imaging Technique to Estimate Fresh Weight in Kiwifruit

Mi Kyung Lee<sup>1</sup>, Sung Yung Yoo<sup>1\*</sup>, Tae Wan Kim<sup>1,2</sup> and Hyun-Hwoi Ku<sup>3</sup> (<sup>1</sup>Department of Plant Life and Environmental Science, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea, <sup>2</sup>Institute of Ecological Phytochemistry, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea, <sup>3</sup>Climate Change Research Center, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea)

Received: 28 April 2020/ Revised: 12 May 2020/ Accepted: 24 June 2020

Copyright © 2020 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

#### ORCID

Mi Kyung Lee  
<https://orcid.org/0000-0002-9455-3989>

Sung Yung Yoo  
<https://orcid.org/0000-0002-7889-3924>

Tae Wan Kim  
<https://orcid.org/0000-0002-1742-1982>

Hyun Hwoi Ku  
<https://orcid.org/0000-0002-8474-9582>

#### Abstract

**BACKGROUND:** Fresh weight is one of the major quality measurement factors in determining the quality of fresh fruits. A practical method has been developed for rapid and non-destructive measurement using the Chlorophyll Fluorescence Image (CFI) technique to estimate changes in fresh weight of post-harvest products.

**METHODS AND RESULTS:** Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) was used and measured for the fresh weight and CFI under different temperature conditions at 0, 10, and 20 °C, from 0 to 21 days after storage (DAS). We observed the fresh weight of kiwifruit and measured the surface image for determining  $F_v/F_m$  value in terms of maximum quantum yield on each day. To estimate freshness of kiwifruit we applied linear regression between the measured fruit weights and  $F_v/F_m$

values. Results showed that fruit weights were reduced by 4% at 0 °C, 6% at 10 °C, and 14% at 20 °C for 21 days, respectively. And also, the value of  $F_v/F_m$  was shown as decreasing trend at all temperature conditions, especially at 20 °C.  $F_v/F_m$  values showed highly significant correlation ( $R^2 > 0.9$ ) with fresh weight of kiwifruit at all different storage temperatures.

**CONCLUSION:** Thus, CFI technique can be useful to estimate the fresh weight of kiwifruit.

**Key words:** Chlorophyll Fluorescence Imaging, Fresh Weight, Kiwifruit, Non-destructive Analysis, Post-harvest Product

#### 서론

농산물의 품질은 크기, 중량, 모양, 색상, 광택, 견고성, 질감, 맛, 눈에 보이는 흠 및 칙칙함 등과 같은 외부 요인[1]과 숙성도, 당도, 산도, 지방함량, 펙틴 물질 등의 내부 요인을 기반으로 평가한다. 특히 농산물 품질 평가에 사용되는 비교

\*Corresponding author: Sung Yung Yoo  
Phone: +82-10-4938-6825; Fax: +82-31-678-4750;  
E-mail: lsn36@hanmail.net

과 방법은 품질 요소와 관련이 있는 물리적 특성(무게, 크기 등)을 기반으로 조직을 파괴하지 않고 농산물의 내부 요인의 예측이 가능하다. 비파괴 방법은 기계를 이용하여 경제적이며 신속하고 정확하게 품질을 평가할 수 있어 식품 산업이나 과일 포장 산업에서 많이 사용되고 있다[2].

이와 같은 비파괴 방법 중 엽록소 형광 이미지(Chlorophyll Fluorescence Image, CFI) 분석법은 광화학적 해석을 통한 작물의 광생리 지표 연구에 사용되어왔으며, 여러 가지 변수들을 측정하는 기술로서 이용 가능성이 높게 평가되고 있다[3]. 본 연구에 사용된 CFI는 비생물적 또는 생물학적 스트레스에 의해 유발되는 생리적 장애(특히, 온도와 수분 스트레스)를 평가하는 방법으로 잘 알려져 있다[4]. CFI의 기능적 장점은 식물 조직에 대한 형광반응 감도가 높아서 상대적으로 엽록소 함량이 낮은 과일이나 색상이 높은 과일에서도 측정할 수 있을 정도로 충분한 강도의 엽록소 형광신호를 생성할 수 있다. 대부분의 고등 식물은 잎, 줄기, 열매에 엽록소 a, b가 존재하며 안테나 엽록소(엽록소 a)가 광합성에 중요한 역할을 하고 있어 이러한 엽록소 a의 형광 방출량 측정을 통해 식물의 광화학 능력 및 건전성 예측이 가능하다.

일반적으로 식물은 다양한 스트레스 조건에서 광계II 반응 중심에 빛 에너지를 정상적으로 전달할 수 없는 엽록소 분자들의 증가로 인해 초기 형광값( $F_0$ )이 증가하고 최대 형광값( $F_m$ )과 광계II 최대 양자수득률( $F_v/F_m$ )은 감소한다[5]. CFI 분석방법은 엽록소의 형광반응과 식물 조직의 이미지(상태)를 비파괴적으로 접근하여 조직의 상태를 정량화하고 평가할 수 있는 기술로 더 정확하고 객관적으로 품질 평가가 가능하다.

키위(*Actinidia deliciosa*)는 물리적 화학적 특징인 과피 색상, 과육 색상, SSC (Soluble Solid Content), Seed Color Change, 경도(Flesh Firmness), 그리고 과피색 변화에 대한 연구가 있으나, 생체중과 과피의 광화학 반응 분석을 통해 키위의 품질 변화를 평가하는 연구는 수행된 바 없다. 따라서 본 연구는 키위의 저장 온도에 따른 광계 II 최대 양자수득률( $F_v/F_m$ )과 생체중의 상관성을 분석하여 품질 평가를 위한 생체중 예측 가능성을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 재료 및 저장 조건

키위 [*Actinidia deliciosa* (A.Chev.) C.F.Linag et A.R. Ferguson]의 품종은 'Hayward'로 제주산이며, 경기도 안성에 위치한 대형마트에서 구매하였다. 구입 후 외관상 같은 색을 나타내며, 가시적 결함(외관상 흠)과 부패가 없는 중간 크기(90~110 g)의 키위를 선별하여 실험에 사용하였다. 저장 온도 조건은 0°C와 10°C 및 20°C으로 3수준이었으며 상대습도는  $95 \pm 2\%$ 로 일정하게 유지하였다. 저장 후 0, 3, 5, 7, 10, 15 및 21일에 키위의 생체중을 처리 별 5개체씩 5회 반복하여 엽록소 형광 반응과 생체중을 측정하였다.

### 엽록소 형광이미지(CFI)

키위의 엽록소 형광 이미지 측정은 CFI FluorCam (Handy FluorCam FC 1000-H, PS I, Czech Republic)를 사용하여 30분간 암처리 후 소광 분석(Quenching analysis)을 수행하였다. 측정 후 엽록소 형광 이미지를 캡처하고 광계 II (PSII) 최대 양자수득률(Maximum Quantum Yield,  $F_v/F_m$ )을 분석하였다[5]. 이때 최소 형광값( $F_0$ )은 형광 유발시점으로서  $400 \mu\text{mol m}^2/\text{s}$  이하의 광량에서 5초간 측정하며, 최대 형광값( $F_m$ )은  $2,500 \mu\text{mol m}^2/\text{s}$  이하의 광량에서 0.8초간 측정하였다.

### 통계 분석

온도 조건 별 시간 경과에 따른 키위의 생체중(fresh weight)과 광계 II (PSII) 최대 양자수득률(Maximum quantum yield)의 상관 분석은 XLSTAT (BASIC+, Addinsoft, USA)를 이용하여 1차 선형회귀식(linear regression)과 결정계수( $R^2$ )로 평가하였다.

## 결과 및 고찰

### 온도 조건에 따른 키위 생체중 변화

온도 조건 별 시간 경과에 따른 키위의 무게는 온도가 높을수록 감소하였다. 0°C 조건에서 처리 후 21일에 키위의 무게는 4% 감소하였고 10°C 조건에서는 6% 감소하였던 반면에 10°C 조건에서 키위의 무게는 14% 감소하였다(Fig. 1).

### 온도 조건에 따른 키위의 최대 양자수득률 변화

저장 초기 온도별 최대 양자수득률( $F_v/F_m$ ) 값은 0°C에서 0.75, 10°C에서 0.76 및 20°C에서 0.76이었으며 저장 온도 조건에 상관없이 저장 후 10일까지 모든 처리에서 최대 양자수득률( $F_v/F_m$ ) 값은 큰 차이가 없었다. 그러나 저장 후 15일부터 온도가 높을수록 최대 양자수득률( $F_v/F_m$ ) 값은 낮아

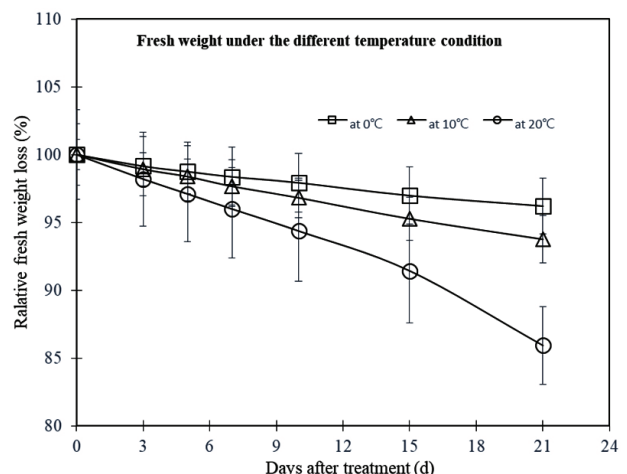
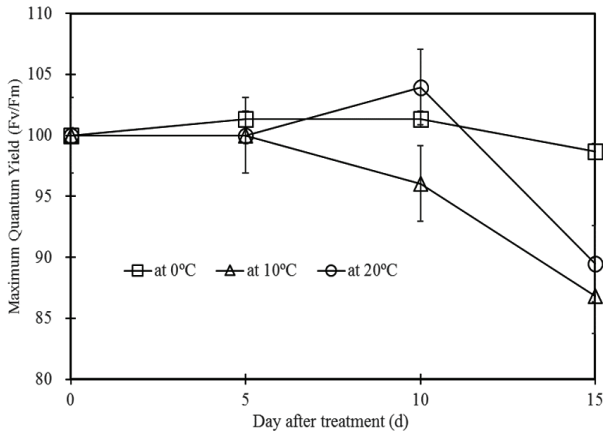


Fig. 1. Relative fresh weight loss (%) of harvested kiwifruit stored at different temperatures. The vertical bars indicate standard deviation.



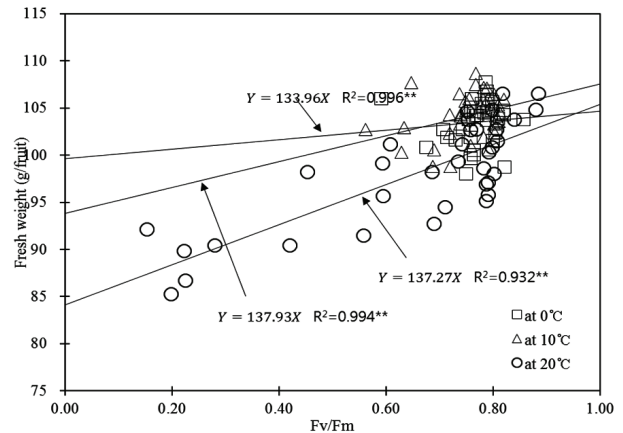
**Fig. 2.** Changing in maximum quantum yield ( $F_v/F_m$ ) of kiwifruit stored at different temperatures. The vertical bars indicate standard deviation.

졌으며 0°C에서 DAT 0에 비해 98.67% 인데 비해, 10°C에서 89.47%, 20°C에서는 86.84%로 낮아졌다(Fig. 2).

엽록소 형광은 빛에 노출된 엽록소가 15분 이상의 암기간을 거치게 되면 다시 원상태의 형광현상이 나타날 수 있는 상태로 복귀하는 것으로 알려져 왔다[6]. 암상태를 거친 식물의 광합성 과정은 대부분의 광계 II 반응중심(Photosystem II reaction center, PSII RC)의 전자수용체가 대부분 산화상태로 존재하게 되는데, 이런 상태에서 엽록소 형광은 최소값( $F_0$ )을 나타내게 된다. 한편, 고온 조건하에서는  $CO_2$  동화와 전자 수송이 점진적으로 억제되어 최소값( $F_0$ )은 증가하고 최대 양자수득률( $F_v/F_m$ )은 감소한다고 하였다[7]. 광계II 최대 양자수득률( $F_v/F_m$ ) 등 엽록소 형광 매개 변수(chlorophyll fluorescence parameters, CFP)는 CFI 시스템에 의해 직접 측정이 가능하여 식물 광계의 활성과 에너지 변환 효율 및 식물의 광계 손상 정도를 예측 가능한 지표로서 본 연구에서 온도 조건과 시간경과에 따른 광계II 최대 양자수득률( $F_v/F_m$ )을 정량화하여 키위과일의 품질을 평가할 수 있었다. 이는 수확 후 저장 과정에서 식물이 생리적 노화단계에 놓이게 되면 식물조직 내의 엽록소는 엽록소 가수분해 효소와 산(acid) 및 산소의 작용을 받아 파괴[8]되기 때문에 키위 과피의 엽록소는 저장 온도가 높을수록 그리고 시간이 경과할수록 파괴되어 생리적으로 품질 저하가 발생한 것으로 판단되었다.

**키위 생체중과 최대 양자수득률( $F_v/F_m$ )과의 상관관계**

온도 조건별 시간경과에 따른 키위의 생체중 측정 결과 ( $n=105$ )와 광계II 최대 양자수득률( $n=105$ )과의 상관성은 95% 신뢰범위에서 1차 직선회귀방법과 결정계수를 통하여 제시되었다(Fig. 3). 본 연구는 키위의 생체중의 변화와 엽록소 형광반응에서 광계II 최대 양자수득률이 품질평가 시 신선도를 나타내는 지표로 활용 가능하다는 가설에 기반하였다. 키위는 모든 온도 조건에서 생체중과 양자수득률은 고도의 상관성을 보여 각 온도 조건별 1차 선형회귀식을 구하였다(Fig. 3).



**Fig. 3.** Relationship between fresh weight and maximum quantum yield ( $F_v/F_m$ ) in kiwifruit under different storage temperatures. A, B, and C indicates at 0°C, at 10°C, and at 20°C.

수분함량은 과일의 품질평가 시 신선도를 나타내는 중요한 지표로 활용된다. 앞서 제시하였듯이 과일의 호흡량은 온도가 높아질수록 증가하고 이에 따라 과실조직의 연화가 빨리 진행되어 수분손실을 초래한다고 하였다[9]. 또한 엽록소는 온도가 증가할수록 또는 시간이 경과할수록 점진적으로 파괴된다. 결과적으로 수분손실과 엽록소 파괴는 직접적인 관련성을 보인다고 할 수 있다. 따라서 CFI를 이용하여 엽록소 형광반응을 측정하여 광계II 최대 양자수득률( $F_v/F_m$ )을 실시간으로 측정할 수 있다면, 과일의 건전성(예, 품질, 광이용 효율, 엽록소 함량, 수분함량 등)을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

결론적으로 키위의 품질 예측을 위해 최대 양자수득률( $F_v/F_m$ )과 생체중의 변화를 분석한 결과 고도의 상관성 ( $R^2 > 0.9$ )을 갖는 것으로 나타났으며, 저장 온도가 높을수록 그리고 저장기간이 경과할수록 최대 양자수득률( $F_v/F_m$ )과 생체중 감소가 뚜렷하였다. 본 연구에서 키위 과피의 최대 양자수득률( $F_v/F_m$ ) 측정을 통해 생체중 예측이 가능했으며 향후 품질 평가에 활용 가능한 요소 중 하나라고 사료되었다.

**Note**

The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement**

This research was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ015103022020)”, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

1. Du C J, Sun D W (2004) Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5), 230-249. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.006>.
2. Du C J, Sun D W (2006) Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation a review. *Journal of food engineering*, 72(1), 39-55. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.017>.
3. Calatayud A, Iglesias D J, Talón M, Barreno E (2006) Effects of long-term ozone exposure on citrus: Chlorophyll a fluorescence and gas exchange. *Photosynthetica*, 44(4), 548-554. <https://doi.org/10.1007/s11099-006-0070-1>.
4. Nedbal L, Soukupova J, Withmarsh J, Trtílek M (2000) Postharvest imaging of chlorophyll fluorescence from lemons can be used predict fruit quality. *Photosynthetica*, 38(4), 571-579. <https://doi.org/10.1023/A:1012413524395>.
5. Gorbe E, Calatayud A (2012) Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: A review. *Scientia Horticulturae*, 138, 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.002>.
6. Strasser RJ (1985) Dissipative strukturen als thermodynamischer regelkreis des photosyntheseapparates. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 98(1), 53-72. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1985.tb02902.x>.
7. Schreiber U, Klughammer C (2008) Non-photochemical fluorescence quenching and quantum yields in PSI and PSII: analysis of heat-induced limitations using maxi-imaging-PAM and Dual-PAM-100. *PAM Application Notes*, 1, 15-18.
8. Macrae EA, Lallu N, Searle AN, Bowen JH (1989) Changes in the softening and composition of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) affected by maturity at harvest and postharvest treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 49(4), 413-43. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740490404>.
9. Park JK, Chun JK, Lee SK, Kim KH (1989) Automatic Measurement of Respiration Rate and Weight Loss during Storage of Citrus fruits. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 21(3), 387-390.