

RESEARCH ARTICLE

식물자원의 표현형 분석을 위한 다중센싱기법에 관한 기초연구

Nandita Irasaulul Nurhisna^{1,2}, 홍석주¹, 김상연¹, 김응찬^{1,2}, 이창협^{1,2}, 김성제^{1,2}, 노승우^{1,2}, 류지원^{1,2}, 김기석^{1,2,3*}
¹서울대학교 농업생명과학대학 바이오시스템공학과, ²서울대학교 농업생명과학대학 융합전공 글로벌스마트팜, ³서울대학교 농업생명과학대학 농업생명과학연구원

Preliminary study on multiple sensing techniques for phenotype analysis of plant resources

Nandita Irasaulul Nurhisna^{1,2}, Suk-Ju Hong¹, Sang-Yeon Kim¹, Eungchan Kim^{1,2}, Chang-Hyup Lee^{1,2}, Sungjay Kim^{1,2}, Seung-Woo Roh^{1,2}, Jiwon Ryu^{1,2}, Ghiseok Kim^{1,2,3,*}

¹Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

²Global Smart Farm Convergence Major, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

³Research Institute of Agriculture and Life Science, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

*Corresponding author: ghiseok@snu.ac.kr

Abstract

Plant phenomics offers a suite of new technologies to maximize plant productivity. Plant phenomics can be manifested in various form, such as color, temperature, and volume. To measure this various form of plant phenomics, a multi-sensing system which contains IR camera, temperature sensor, and depth camera was proposed. We also used KinectFusion algorithm to obtain one 3d model from point clouds which can be obtained from Kinect. We demonstrate usability of our multi-sensing system on romaine, red lettuce, tobacco under water and low-temperature stress.

Keywords: Plant phenotype, multi-sensing, 3d reconstruction

Introduction

미래의 식량난과 자원난이 예측됨에 따라 식물의 생산성 향상을 위하여 식물 표현형 분석에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 식물의 표현형분석은 식물의 성장 환경과 유전자에 따른 식물의 생산성 변화를 관찰하는 기법으로 미래의 식량난을 해결할 중요한 연구 분야 중 하나라고 언급되었다[1].



OPEN ACCESS

DOI: <https://doi.org/10.12972/jame.20210004>

Received: December 13, 2021

Revised: December 27, 2021

Accepted: December 28, 2021

Copyright: © 2021 Journal of Agricultural Machinery Engineering



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

JULICH 사는 식물의 표현형을 분석하는 대표적인 기업으로 식물들의 빛, 수분, 온도, 흙, 유전자 등의 조건을 변경해가며 식물의 생산성이 극대화되는 조건을 찾는 연구를 진행하고 있다. 이 때 식물의 생산성을 나타내는 식물의 표현형은 온도, 형태, 색상 등 다양한 형태로 나타나게 되므로 이를 측정하기 위해 다중 센싱 기법이 필요하게 된다. 따라서 본 논문에서는 따라서 식물의 표현형을 측정하기 위한 기초적인 다중 센싱 측정장치를 구성하고 다양한 식물의 표현형 변화를 측정하여 이에 대한 실효성을 검증하고자 하였다. 온도, 표현형, 색상을 측정하는 것 외에 추가적으로 부피를 측정하기 위해 3차원 측정장치도 구성하였다.

본 연구의 가장 큰 특징은 저가형 3차원 측정시스템을 구축한 것이다. 일반적으로 3차원 측정을 하는 경우 레이저 센서, 스테레오 카메라, 적외선 기반 깊이 측정 카메라를 사용하게 되는데, 레이저 센서의 경우 고가형 장비 이므로 식물의 생산성을 향상시키기 위한 식물 표현형 장치에 적합하지 않다. 또한 AgiSoft 사에서 제공하는 스테레오 카메라를 이용한 3차원 측정 장치의 경우 고가의 소프트웨어를 사용해야 하기에 마찬가지로 적합하지 않다는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 약 200달러인 저가형 깊이 측정 카메라 Microsoft Kinect v2를 이용하여 식물의 3차원을 측정하였다.

Materials and Methods

실험에 사용된 시스템은 Fig. 1에 나와 있으며 크게 네 가지(IR 이미지촬영, 표면 온도 측정, 2d 이미지 촬영, 3d 이미지 촬영)로 이루어져 있다. IR (infrared) 이미지 촬영의 경우 적외선 카메라(FLIR T640, Flir Ltd., USA)를 이용하였다. FLIR T640은 30 mK의 단위로 온도 측정이 가능하며 최소 -40°C에서 최대 1,500°C까지 측정이 가능하다. 표면 온도 측정 장치로는 백금식 저항 온도계인 PT-100을 사용했으며 2D 이미지 촬영에는 CMOS 이미지 센서를 탑재한 카메라(Xiami Smart Camera, Xiami Corp., China)를 이용하였다. 마지막으로 3D 이미지 촬영은 RGBD 카메라 (Kinect v2, Microsoft Corp., USA)를 사용하였다. Kinect v2는 IR 기반의 깊이 촬영 카메라로 0.5 m 4.5 m 범위 내의 깊이를 촬영할 수 있다.

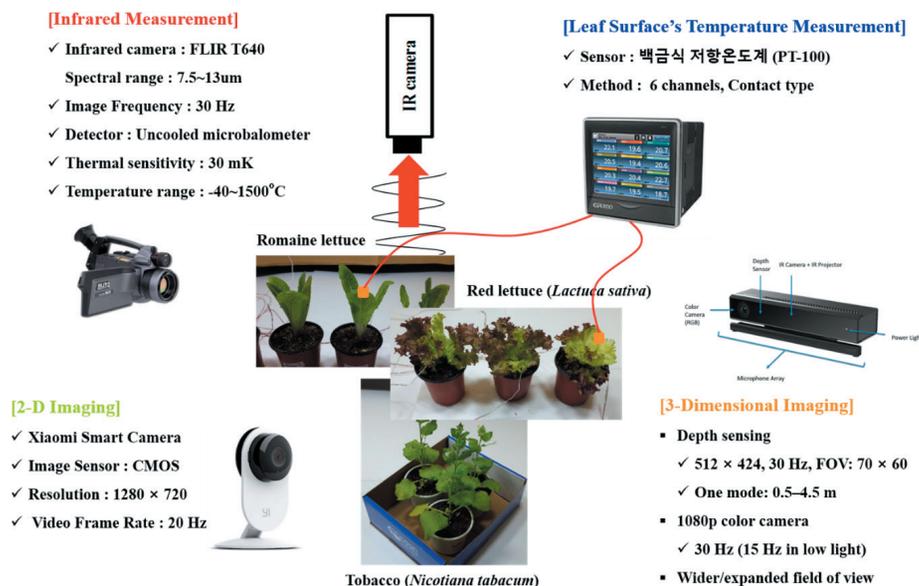


Fig. 1. Multi-sensing devices for the phenotyping of crops.

본 논문에서 식물의 3차원 모델을 얻기 위해 KinectFusion 알고리즘을 이용하였다[3]. KinectFusion은 Microsoft Kinect와 같은 깊이 측정카메라를 이용하여 실시간으로 하나의 3차원 모델을 생성하는 알고리즘으로 알고리즘은 Fig. 2와 같다. 여러 장의 프레임을 이용하여 3차원 모델을 생성하는 경우 각 프레임의 3차원 모델과 각 프레임의 카메라 위치 두가지가 필

요하다. 3차원 모델의 경우 깊이 측정 카메라를 이용하여 얻어낼 수 있으며 카메라 위치의 경우 Iterative Closest Point (ICP), 5-point RANSAC과 같은 알고리즘을 이용하여 얻어낼 수 있다. KinectFusion의 경우 우선 깊이 측정 카메라로부터 얻은 깊이 정보를 쌍방 필터(bilateral filter)를 이용하여 노이즈를 제거해준다. 그 후 카메라의 위치 계산 정확도를 높여주기 위하여 포인트 클라우드의 법선 맵(normal map)을 구해준다. 이 때 normal map은 식 (1)과 같이 3차원 상의 세 점을 외적으로 구해지게 된다.

$$n(x, y) = (v(x+1, y) - v(x, y)) \times (v(x, y+1) - v(x, y)) \quad (1)$$

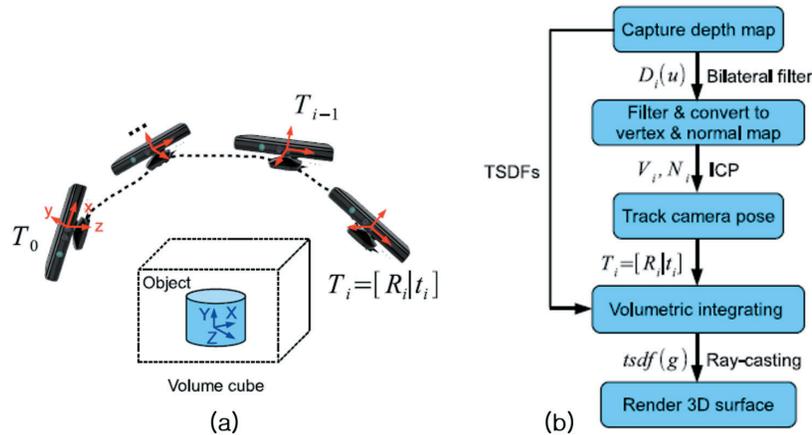


Fig. 2. KinectFusion algorithm used in the study.

이렇게 얻어진 normal map을 이용하여 ICP 알고리즘을 실행시켜 카메라 위치를 얻게 된다. IR 기반의 깊이 측정 카메라의 경우 촬영한 깊이 값이 노이즈가 많이 끼어 있고 알고리즘을 통해 얻은 카메라 위치가 정확하지 않기 때문에 TSDF voxel이라는 자료구조에 촬영한 프레임들을 입력함으로써 노이즈를 제거해주게 된다. 마지막으로 ray-casting을 통해 3차원 메쉬를 얻게 되며 본 연구에서는 이렇게 얻어진 메쉬를 이용하였다.

본 연구에서는 2가지 방법으로 식물의 온도를 측정하였다. 첫번째는 적외선 카메라를 이용하여 식물의 온도를 측정하는 방식이고, 두번째는 백금식 온도 센서를 식물의 잎에 부착하여 해당 부분의 온도를 직접 측정하는 방식이다. 적외선 카메라를 이용하여 촬영하는 방법의 경우 식물 전체의 온도 분포를 관찰할 수 있다는 장점이 있고 온도 센서를 이용하여 직접 식물의 온도를 측정할 경우 외부의 간섭 없이 정확히 온도를 측정할 수 있다는 장점이 있기 때문에 두가지 방법을 혼합해서 사용하였다.

Results and Discussion

로메인, 적상추(*Lactuca sativa*)를 다양한 스트레스(수분, 온도) 조건 하에서 본 논문에서 제시한 시스템을 이용하여 변화를 측정하였다. 첫번째 실험의 경우 수분을 공급하지 않는 수분 스트레스 조건하에서 96시간동안 로메인의 변화를 측정하였다. 이 때 온도와 습도 조건은 각각 20°C와 50%RH로 주었다. 또한 앞에서 언급한 네 가지 측정 장치를 모두 이용하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 네 가지 측정 장치를 이용하여 얻은 결과이다. 식물의 경우 스트레스를 받게 되면 일시적으로 온도가 상승하는 경향이 나타나게 된다. 측정 장치를 통해 촬영한 IR 이미지와 온도 변화의 경우도 마찬가지로의 경향이 나타났음을 관찰할 수 있었다.

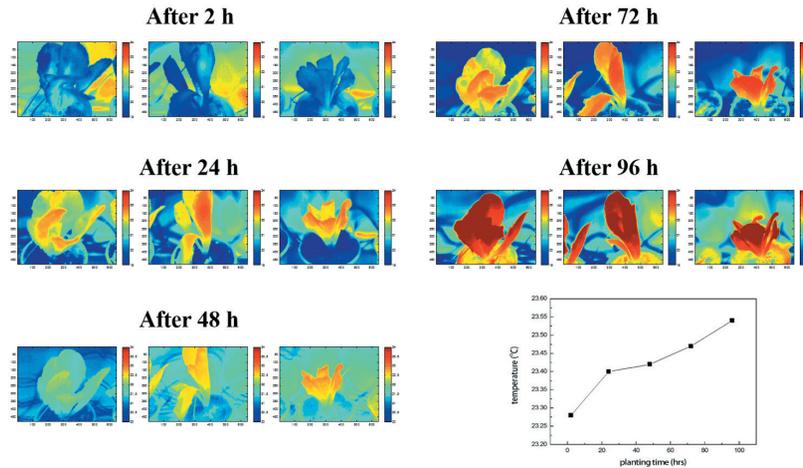


Fig. 3. Leaf temperature changes for water stress.

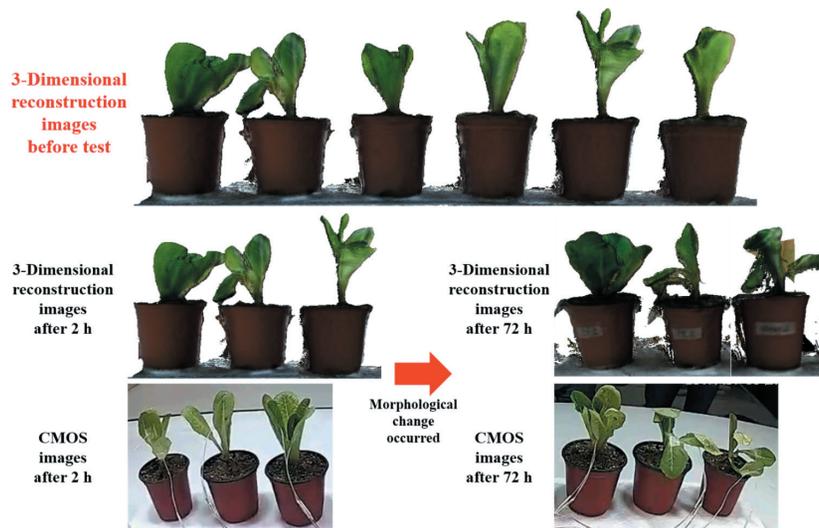


Fig. 4. Morphological changes of romaine for water stress

표현형의 변화도 관찰할 수 있었는데, 2d와 3d 이미지 모두에서 잎이 늘어지게 되는 변화가 나타났음을 관찰할 수 있었다. 두번째 실험은 적상추(*Lactuca sativa*)를 저온 및 수분 스트레스 (5°C, 50%RH) 조건 하에서 96시간동안 적외선 카메라를 제외한 세가지 장치를 이용하여 측정하였다. Fig. 5에서와 같이 적상추의 경우 앞의 로메인 실험과 달리 온도가 하락하는 경향이 관찰되었다. 식물이 급격한 온도 변화를 겪게 되면 일반적으로 변화된 온도에 적응하는 적응기를 거친 후 스트레스로 인한 온도 상승이 나타나게 되는데 실험에서는 적응기로 가는 과정 중에 실험을 중단하였기 때문에 이와 같은 결과가 나타났다고 생각된다. 따라서 온도 스트레스로 인한 온도 변화를 관찰하기 위해서는 실험 기간을 늘려야 할 것으로 생각된다. 하지만 표현형의 경우 앞 실험과 마찬가지로 잎이 늘어지는 변화가 관찰되었다.

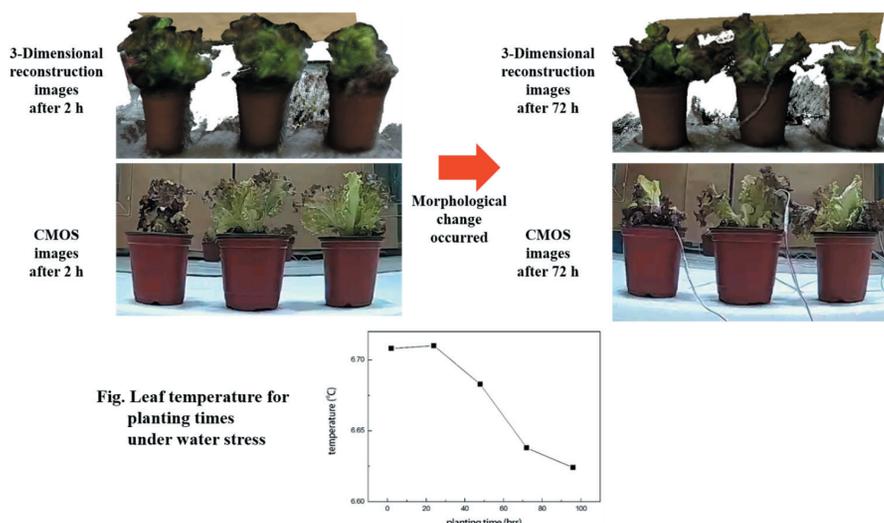


Fig. 5. Morphology and temperature changes of lettuce for both low temperature and water stress

Conclusion

본 논문에서는 식물의 표현형 분석을 위한 기초적인 시스템을 구축하였고 로메인, 적상추의 식물을 수분 및 저온 스트레스 하에서 관찰하였다. 이를 통해 3차원 영상측정 및 분석기법, 열화상 기법의 실효성을 확인하였다. 이는 식물 자원의 표현형 분석에 관한 향후 연구를 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 생각된다. 하지만 저가형 깊이 측정카메라를 이용한 3차원 모델 촬영이 정확하지 않은 점과 구축한 시스템을 이용하여 식물의 최적 성장 조건을 찾는 등 실질적인 성과가 없었다는 점에서 한계가 있었다고 생각한다. 따라서 추후 연구에서는 이를 개선하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ015646042021)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Furbank RT, Tester M. 2011. Phenomics—technologies to relieve the phenotyping bottleneck. *Trends in plant science*, 16(12):635–644.
- Labbe M, Michaud F. 2014. Online global loop closure detection for large-scale multi-session graph-based slam. In *Intelligent Robots and Systems (IROS 2014), 2014 IEEE/RSJ International Conference on*, pages 2661–2666. IEEE.
- Newcombe RA, Izadi S, Hilliges O, Molyneaux D, Kim D, Davison AJ, Kohi P, Shotton J, Hodges S, Fitzgibbon A. 2011. Kinectfusion: Real-time dense surface mapping and tracking. In *Mixed and augmented reality (ISMAR), 2011 10th IEEE international symposium on*, pages 127-136. IEEE.
- Whelan T, Kaess M, Fallon M, Johannsson H, Leonard J, McDonald J. 2012. Kintinuous: Spatially extended kinectfusion.