

영상분석을 활용한 밀순 작물 계측 형질 분석 연구

이광형*, 백민영*, 조연호*, 정현교*, 조세운*, 김병준*, 정성환*

*한국전자기술연구원

lightbro@keti.re.kr, bmy514@keti.re.kr, gejin0821@keti.re.kr,
gusry159@keti.re.kr, swcho@keti.re.kr, jun0420@keti.re.kr, shjeong@keti.re.kr

A Study of Image Analysis for Quantitative Morphological Trait Assessment in Wheatgrass

Gwang-Hyeong Lee*, Minyoung Baek*, Yeonho Jo*, Hyeongyo Jeong* Sewoon

Cho*, Byoungjun Kim*, Sungghan Jeong*

*Korea Electronics Technology Institute

요약

최근 정밀 농업의 발전과 함께 비파괴적으로 작물의 생육 정보를 조사하는 연구들이 진행되고 있다. 본 연구에서는 새싹밀순 작물을 대상으로 비파괴적 접근 방법에 대한 작물의 길이 계측형질 조사에 관한 연구를 수행하였다. 컨테이너팜 내 작물 생육 환경을 구성 후 새싹밀순을 파종 및 생육하여 RGB 카메라로 촬영한 영상 기반 YOLOv8 nano 모델을 활용하였다. 평가 데이터를 활용하여 실험한 결과 mAP@0.5:0.95는 0.64의 성능을 도출하였다.

1. 서론

방법에 대한 연구를 수행하였다.

정밀 농업의 발전을 통해 최근 디지털 육종기술에 대해 주목하고 있으며, 그 중 유전체 분석이 아닌 표현형 분석으로 작물의 생육 조사 기반 비파괴적 접근 방법을 통해 생육 분석 및 조사하는 기술에 대한 연구들이 진행되고 있다. 작물의 표현형 분석에는 길이, 폭, 그리고 면적과 같은 형질은 생육 단계 진단과 수확 시기 예측 및 품질 관리 등에 핵심적인 지표로 활용된다[1].

기존의 작물 생육 조사 방법에는 수작업 방법인 캘리퍼스나 줄자 등 접촉식 도구를 이용하여 계측 및 수기 작성 등과 같은 노동 집약적인 수작업 방법을 수행하였지만, 조사 소요 시간과 반복 측정 시 작물 시료에 물리적 손상과 경험과 주관적인 판단으로 인한 객관적인 결과 획득의 어려움이 존재한다.

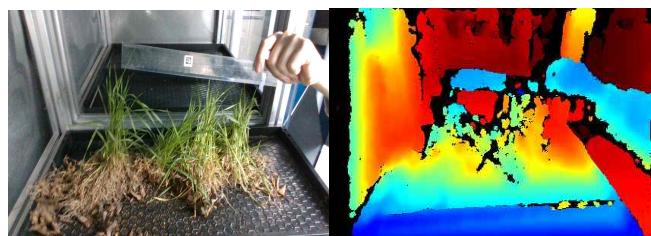
최근 영상 분야에서 컴퓨터 비전 및 딥러닝 기술의 고도화를 통해 다양한 산업에 적용되어 실생활에 사용되고 있으며, 그 중 스마트팜 및 정밀농업에서는 생육 작물의 특성조사를 위해 RGB 영상, 초분광 영상, 그리고 깊이(Depth) 정보 영상 등 다양한 센서를 활용한 연구가 진행되고 있으며[2], 그 중 객체 검출 모델 중 단일 검출방법(One-stage method)인 YOLO(You Only Look Once) 계열 모델을 통해 농업 영상 분야에 널리 활용되고 있다[3-4].

본 연구에서는 새싹밀순(*Triticum aestivum L.*) 작물을 선정하여 줄기 직경이 다른 작물에 비해 가늘고, 표면 반사가 강한 작물에 대해 비파괴적 접근 방법으로 길이 계측 정보를 조사하는

2. 제안방법

2.1 새싹밀순 환경구성 및 데이터수집

본 연구에서는 컨테이너팜 환경에서 재배 중인 새싹밀순의 생육 단계별 길이 측정을 위해 다양한 시점에서 영상을 수집하였다. 일자별 생육 변화를 관찰하기 위해 Intel RealSense D435i 스테레오 카메라를 이용하여 깊이 정보를 기반으로 길이를 추정하고자 하였으나, 그림 1과 같이 새싹 밀순의 작물의 특성 상 잎이 가늘고 얇은 형태적 특성과 표면 반사로 인해 깊이 정보의 획득이 어려운 점이 존재하였다.



[그림 1] D435i를 사용한 새싹밀순 depth 테스트

그림 1을 통해 새싹밀순 작물의 특성으로 인한 깊이 정보 획득의 어려움으로 생육 환경 천장에서 새싹밀순 작물을 바라보는 약 20-30도 각도로 생육 변화 영상을 수집하였다. 아래 그림 2는 새싹밀순 작물 생육 변화에 따른 영상 데이터를 수집하기 위한

환경을 보여준다.



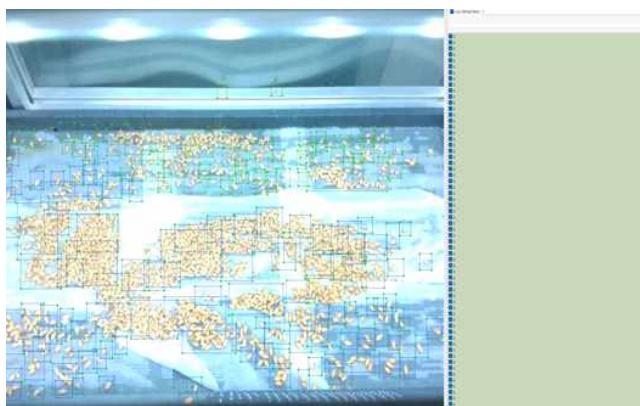
[그림 2] 새싹밀순 데이터 수집 과정(좌: 깊이 센서, 우: RGB 센서)

2.2 수집된 데이터 전처리 및 생육 정보 분류

컨테이너팜 환경에서 새싹밀순 생육을 통한 일자별 생육 변화를 분석하기 위해 그림 2와 같이 구성한 환경에서 RGB 영상 데이터를 수집하였다. 수집된 RGB 영상은 일자별 새싹밀순을 촬영한 영상으로 개체별 길이 정보를 레이블링하기 위해 영상 내 개체를 식별하고 아래 표 1[5] 정보를 통해 일자별 새싹밀순 길이 정보를 기준으로하여 라벨링을 수행하였다. 표 1은 길이 형질 정보는 본 연구의 새싹밀순 작물의 생육 일자에 매칭하여 mm 단위 계측값으로 나누어 정의하였으며, 레이블링은 수집된 RGB 영상 내 생육 중인 새싹밀순 작물에 대해 지면 기준점으로부터 최상단 앞끝 까지의 길이를 기준으로 측정하여 레이블링을 수행하였다. 아래 그림3은 새싹밀순 작물 생육과정을 촬영하여 수집된 RGB영상에 대해 레이블링한 결과를 보여준다.

[표 1] 새싹밀순 작물 생육일자에 따른 길이정보[5] 및 레이블링 정보

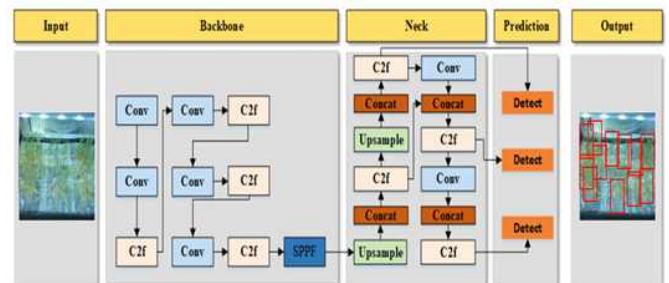
생육 일자	길이 정보	클래스
0일차	0	0
1일차	0.99 ± 0.05	1
2일차	2.32 ± 0.37	2
3일차	4.20 ± 0.11	3
4일차	6.80 ± 0.29	4
5일차	8.47 ± 0.29	5
6일차	10.34 ± 0.54	6
7일차	11.98 ± 0.66	7
8일차	14.10 ± 0.51	8



[그림 3] 새싹밀순 작물 수집영상 기반 생육일자에 따른 레이블링 결과

2.3 객체 검출 모델을 활용한 밀순 길이 측정

새싹밀순 생육일자별 수집한 RGB영상에 대해 표 1을 통해 레이블링 수행한 결과를 기반으로 딥러닝 객체검출 모델인 YOLOv8 nano[6] 활용한 길이 계측 형질 조사 방법에 대해 연구를 수행하였다. YOLOv8 nano 모델은 단일 검출기 중 경량 구조를 가지고 있어 225개의 층과 약 3백만 개의 매개변수로 구성되어, 실시간 객체 검출 성능을 제공한다. 인코더 부분에서는 CSP(Compound-Scaled Path) 기반의 백본 네트워크를 통해 다단계(multi-stage) 특징 맵을 추출하고, 디코더에서는 PANet(Path Aggregation Network) 구조를 이용하여 저수준의 공간 정보와 고수준의 추상적 특징을 결합하는 방법으로 영상 내 다양한 공간적인 특징 분석과 객체 검출을 수행하는 모델이다. 아래 그림 4는 YOLOv8 nano 객체 검출 모델 기반 새싹밀순 생육 길이 형질 조사 모델의 구조를 보여준다.



[그림 4] YOLOv8 nano 객체 검출 모델 기반 새싹밀순 생육길이 조사 구조

새싹밀순 작물 생육 RGB 수집 데이터는 가로640 크기, 세로480 크기 영상으로, 총 685개 객체(bounding box)를 확인하였으며, 548개 객체는 학습과 137개 객체는 검증으로 구성하였다. 데이터 수 부족으로 인해 과적합 문제 발생을 해결하기 위해 이동(translate), 좌우 반전(flip), 그리고, 모자이크(mosaic) 등 다양한 데이터 증강 방법을 적용하였다. Intel Core i9-11900 CPU, 32GB RAM, NVIDIA GeForce RTX 3080 GPU에서 Python 3.8.10, PyTorch 1.13.1, OpenCV 4.7.0 환경에서 학습과 검증을 진행하였으며, 학습 시 epoch 200, batch size 16, learning rate 0.01, weight decay 0.0005, SGD 방법을 적용하였다.

학습에 사용되지 않은 평가 데이터를 통해 제안한 방법의 성능을 평가하기 위해 mAP(mean Average Precision) 평가 척도를 활용하여 평가를 수행하였다.

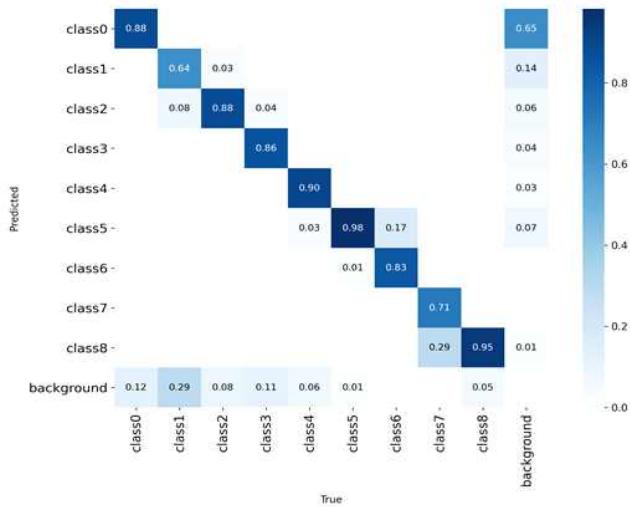
$$mAP = \frac{1}{|Q_R|} \sum_{q \in Q_R} \text{Average Precision}(q)$$

평가 척도를 통해 평가 데이터를 활용하여 실험한 결과, mAP@0.5는 0.98과 mAP@0.5:0.95는 0.64의 성능을 도출한 것을 확인하였다. 아래 그림 5는 평가 데이터 기반 생육 일자에 따른 길이 형질 추정 결과를 보여준다.



[그림 5] 평가 데이터 기반 생육일자에 따른 길이 형질 조사 결과

새싹밀순 작물의 생육일자에 따른 길이 형질 정보에 따른 클래스 분류에 대해 성능은 혼동행렬(Confusion Matrix)을 통해 분석한 결과 0일차, 4일차, 5일차, 그리고 8일차에서 다른 생육일자 보다 높은 분류 성능을 도출하였고, 1일차와 7일차의 생육 길이 정보의 인접 길이 구간의 경계가 모호하여 낮은 성능이 제시된 것으로 판단된다. 아래 그림 6은 생육일자에 따른 길이 형질 조사 분류 성능에 대한 혼동행렬 결과를 보여준다.



[그림 6] 생육 일자에 따른 새싹밀순 길이 형질조사 분류 혼동행렬 결과

3. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 새싹밀순 작물의 생육 일자에 따른 길이 형질 조사의 기준 노동집약적 수작업 방법을 개선하기 위해, 컨테이너 팜 환경 내 새싹밀순 생육 환경을 구성 후 생육일자에 따른 RGB 영상을 수집하여 YOLOv8 nano 모델을 통해 길이 형질 조사 방법에 관한 연구를 수행하였다. 향후 다양한 환경정보 데이터와 길이 형질 조사 결과와 융합하여 작물 생육 분석 연구에 대해 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 K-수직농장세계화프로젝트사업의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2025-02306198)

참고문헌

- [1] 강영민, 이가연, 민지윤, 문병철, "비파괴성 측정기술을 이용한 한약자원식물의 종자특성평가", 농업생명과학연구논문지, 제 49권 5호, pp.67–78, 2015년.
- [2] 어기주, 임성수, 박종석, "RGB 이미지 기반 적상추 안토시아닌 비파괴적 분석", 원예과학기술학회논문지, 제 43권 2호, pp.255–263, 2025년.
- [3] 방지현, 심춘보, 박준, 박성욱, 김준영, "딥러닝 기반의 객체 탐지 모델을 활용한 과수 생육 단계 판별 시스템", 스마트미디어저널학회논문지, 제 11권 4호, pp.9–18, 2022년.
- [4] 양다연, 손형일, 주찬영, "다중 YOLO 모델을 활용한 방울토마토 성숙도 판별 성능 비교 연구", 제어로봇시스템학회 논문지, 제 30권 11호, pp.1214–1220, 2024년.
- [5] Bari, M. S., et al. "Changes in morphology, nutrient content and production costs of hydroponic wheat as fodder." Bangladesh Journal of Animal Science, Vol. 1.51, No.2, pp.68–80, 2022.
- [6] YYaseen, M. "What is YOLOv8: An in-depth exploration of the internal features of the next-generation object detector." arXiv 2408.15857, 2024.