

인공광원 광주기 변화에 따른 새싹 밀순 생장 변화 분석 연구

이광형*, 임광진*, 최강인*, 명현정*, 김병준*, 정성환*

*한국전자기술연구원

lightbro@keti.re.kr, kjlim@keti.re.kr, cki921@keti.re.kr, mhj0501@keti.re.kr,
jun0420@keti.re.kr, shjeong@keti.re.kr

A Study on the Growth Changes of Wheat Sprouts in Response to Variations in Photoperiods of Artificial Light Sources

Gwang-Hyeong Lee*, Kwangjin Lim*, Kangin Choi*, Hyunjung Myung*,
Byoungjun Kim*, Sunghwan Jeong*

*Korea Electronics Technology Institute

요 약

본 논문에서는 수직농장 내 설치된 인공광원에 대해 광주기 변화가 새싹밀순(*Triticum aestivum* L.)의 생육 및 영상 특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 광질, 온도, 습도, 그리고 수분 조건에 대한 비교 실험을 진행하여 수집한 초분광 영상에 대해 연구를 수행하였다. 실험한 결과 초분광 분석에서는 NDVI가 재배 전 기간 점진적으로 증가했고, 대부분의 시점에서 B군이 A군보다 소폭 높았으나 그 차이는 크지 않았으며, NIR 반사율 분석에서도 B군이 다소 높았으나, 두 그룹이 거의 동일한 값을 보였다. 실험 결과를 통해 연속광 조건이 새싹밀순의 초기 생육과 엽록소 발달을 촉진하지만, 재배 후반에는 표준광 조건과 유사한 생육 수준으로 수렴함을 확인했다.

1. 서론

새싹밀순(*Triticum aestivum* L.)은 발아 후 짧은 기간 내 빠르게 생육하며, 비타민, 무기질, 폴리페놀 등 다양한 기능성 성분을 함유하고 있어 건강식품 및 기능성 작물로 주목받고 있다. 특히 초기 생육 단계의 환경 조건은 광합성 효율, 생장 속도, 그리고 향후 기능성 성분 함량에까지 큰 영향을 미친다[1]. 이 중 광주기는 식물의 생리·생화학적 반응을 조절하는 핵심 요인으로, 엽록소 축적, 탄수화물 대사, 광합성 관련 효소 활성화 등 다양한 대사 경로에 영향을 준다[2-3].

최근 RGB 영상 분석과 초분광 영상 기반 분석 기법이 비파괴적 생육 평가 방법으로 주목받고 있으며[4-5], 이를 통해 스마트 팜 및 수직농장에서 다양한 작물 생육 및 재배를 진행하고 있지만, 인공광 환경 변화에 따른 식물의 생리적 변화를 통해 정량화하는 가능하지만, 기존 연구는 주로 장기 생육 단계나 완전 성숙기의 작물에 집중되어 있어, 광주기 효과를 다각적으로 분석한 연구는 적은 상황이다.

본 연구에서는 동일한 환경 조건에서 인공광원의 광주기만을 달리한 처리군을 설정하여 새싹밀순의 생육 및 영상 특성 변화에 따른 길이 측정, RGB 영상 기반 색채 특성 분석, 그리고, 초분광 영상 기반 식생지수 분석을 통해 광주기 변화에 따른 차이에 따

른 작물 생육 생장 변화 분석에 대한 연구를 수행하였다.

2. 제안방법

2.1 새싹 밀순 생육 환경

본 연구에서는 광주기 변화에 따른 작물 생육 생장 변화 분석을 수행하기 위해 새싹밀순 작물 대상으로 약 10일간의 생육 기간에 대한 환경 구성을 표 1과 같이 구성하였다.

환경 구성은 표 1과 같은 환경에서 한국전자기술연구원 보유한 컨테이너 팜에서 인공광원인 LED 광질, 24 °C의 온도, 60~70%의 상대습도, 시간당 1회 수분 공급으로 고정하였다. 처리군은 16시간 광/8시간 암의 표준광 조건을 적용한 A군과, 24시간 연속광 조건을 적용한 B군으로 구성하였다. 파종은 동일한 규격의 재배 용기에 밀순 종자 60g씩 실시하였으며, 항온항습기, LED제어 등을 이용해 온도, 습도, 광량, 급수량을 자동으로 유지하였다.

[표 1] 광주기 조건에 따른 밀순 실험 조건

항목	A군(표준 광주기)	B군(연속광)
광질	LED(고정)	
온도	24°C	
습도	60~70% RH	
물 공급	시간당 1회, 100mL	
광주기	16시간 광/8시간 암	24시간 연속광

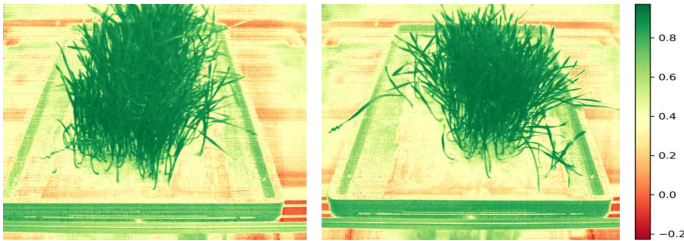
2.2 데이터 수집 및 분석 방법

새싹 밀순 생육 환경 및 생육 기간 구성 후 새싹밀순의 생육 측정은 파종 후 매일 계측하여 진행하였으며, 길이 측정은 자를 활용하여 지상부 최장엽 기준으로 수작업 방법으로 측정 진행과 RGB 및 초분광 영상을 수집하였다. RGB 영상은 그림 1과 같은 환경 하에 Galaxy S22 Ultra 휴대폰으로 촬영 후 촬영된 영상에서 광주기 조건에 따른 녹색(Green) 채널에 대한 색채 변화와 픽셀 분포 차이를 비교하였다.



[그림 1] 새싹밀순 작물 생육 환경 구성

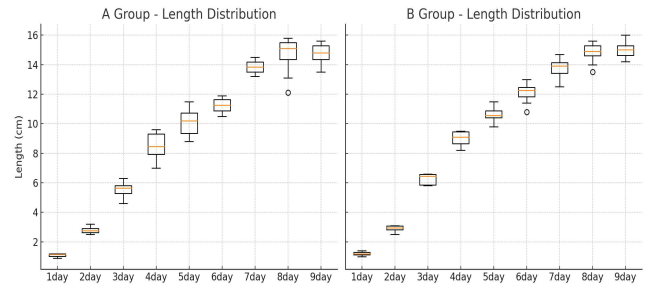
초분광 영상은 Specim IQ 카메라를 사용하여 400~1000nm 범위의 파장 대역을 포함하여 근적외선(NIR) 영역 반사를 분석을 수행하기 위해 아래 그림2와 같이 촬영 후 정규 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index)로 변화하여 광주기에 따른 A군 및 B군 간의 차이를 비교 분석하였다.



[그림 2] 새싹 밀순 NDVI 시각화 결과 일부

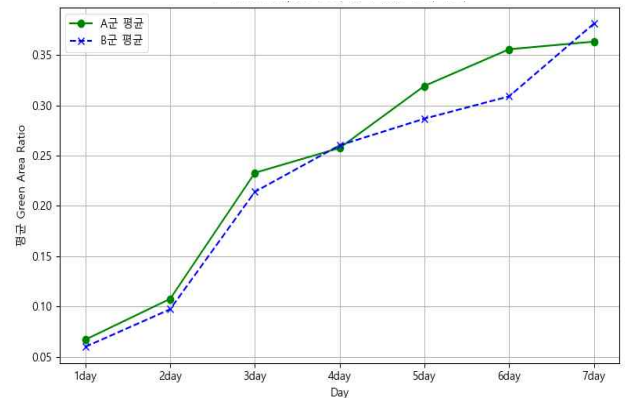
3. 결과 및 분석

새싹밀순 작물의 생육환경 구성 후 광주기 조건에 따른 변화에 대하여 작물 길이 생장을 비교한 결과, 아래 그림 3을 통한 상자 수염도를 비교 시 파종 후 초기 3일 동안 연속광 조건 B군의 생육이 표준광 조건 A군 보다 생육이 빠르게 진행된 것을 확인하였다. 1일 차에서 연속광 조건 B군은 표준광 조건 A군 보다 9.01% 길었고, 2일 차에는 5.04%, 3일 차에는 12.79% 더 길게 나타났다지만, 초기 우세는 4일차(6.00%), 5일차(4.63%), 6일차(7.38%)에서도 유지되었으나, 7일차 부터는 두 그룹 간 차이가 거의 사라져 0~1.5% 이내로 수렴하였다. 실험 결과를 통해 작물 생육에 대해 연속광 처리가 초기 광합성 활성화와 세포 신장을 촉진하는데 영향을 나타냈지만, 작물 생육 후반에는 표준광 조건과 유사한 수준으로 수렴함을 확인하였다.



[그림 3] 광주기 조건 A군, B군 일자별 길이 분포 비교(Boxplot)

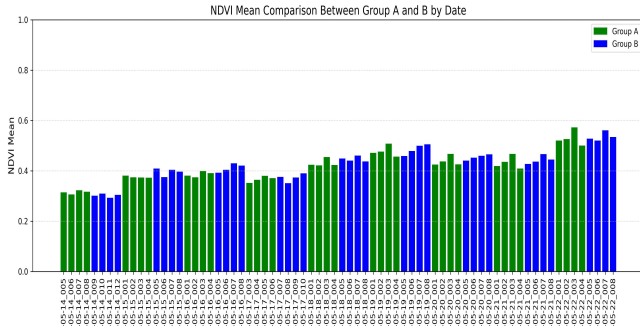
그림 1과 같은 작물 생육환경에서 생육한 새싹밀순 작물에 대해 수집 및 녹색 채널에 대해 색채 변화와 픽셀 분포 차이에 대해 분석한 결과 1일 차부터 7일 차까지 두 처리군 모두 초록 영역 비율이 지속적으로 증가하였으며, 초기 1~2일 차에는 두 그룹 간 차이가 거의 없었지만, 3일 차부터는 A군과 B군 모두 비율이 급격히 상승 후 4일 차부터 6일 차까지는 B군이 A군보다 다소 낮은 값을 유지하였으나, 7일 차에서는 B군이 A군을 소폭 증가하였다. 실험 결과를 통해 연속광 조건이 재배 후반부에서 엽록소 함량과 관련된 초록색 영역을 확대할 가능성이 있음을 알수 있지만, 생육 변화 추세에서 광주기 조건 두 그룹 간 차이는 크지 않아 광주기에 따른 녹색 영역 발달 속도 차이는 제한적임을 알 수 있다. 그림 4는 광주기 조건에 따른 녹색채널에 대한 색채 변화 및 픽셀 분포 차이 비교 결과를 보여준다.



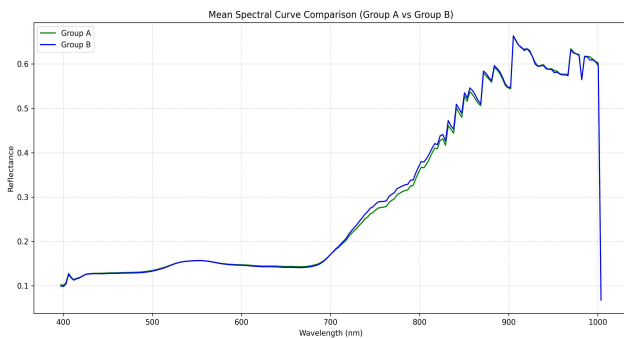
[그림 4] 광주기 A군 및 B군 녹색 영역 평균 변화 추세

그림 2과 같은 작물 생육환경에서 수집한 초분광 영상 데이터를 기반으로 정규식생지수 분석을 수행한 결과, 상이한 광주기 조건임에도 불구하고 재배 기간 동안 정규 식생지수 값은 점진적으로 증가하였으며, 연속광 조건 B군이 표준광 조건 A군 보다 소폭 높은 값을 나타냈으나 두 그룹 간 차이는 전체적으로 크지 않음을 확인하였다. 실험 결과를 통해 연속광 조건이 초기 엽록소 발달을 다소 촉진할 가능성을 제시하지만, 작물 생육이 진행될수록 표준광 조건과 유사한 수준으로 수렴함을 확인하였다. 또한, 광주기 조건에 따른 두 그룹간 초분광 영상의 파장대별 반사율 평균 분석 시 근적외선(NIR) 영역에서 연속광 조건 B군 반사율이

표준광 조건 A군보다 다소 높았으나, 시간 변화에 따른 작물 생육에 대해 차이가 줄어들어 생육 후반부에는 동일한 반사를 패턴을 나타내었다.



[그림 5] 광주기 조건 A군 및 B군 식생지수 값 비교



[그림 6] 광주기 조건 A군 및 B군 파장대별 반사율 평균

3. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 스마트팜 내 설치된 인공광원의 광주기 조건에 따른 새싹밀순 작물의 생육 변화에 분석하기 위해 계측 정보와 RGB 및 초분광 영상을 활용하여 비교 분석 연구를 수행하였다. 실험 결과 연속광 조건은 연속광 조건은 초기 생육과 엽록소 발달을 촉진하였으나, 재배 후반에는 표준광 조건과 유사한 수준으로 수렴하는 것과 광주기 조절 효과가 주로 초기 생육 단계에서 나타남을 확인하였다. 향후 연구에서는 향산화 성분 및 대사물질 분석을 병행하여 영상 지표와의 상관성을 규명하고, 기능성 작물 생산을 위한 최적 인공광원 환경 구성 및 작물 생육 변화에 대한 연구를 수행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참고문헌

- [1] Li, Junyan, et al. "Effects of light quality on growth, nutritional characteristics, and antioxidant properties of winter wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.)."

Frontiers in Plant Science, Vol.13, 2022.

- [2] Minocha, Neha, Sangita Saini, and Parijat Pandey. "Nutritional prospects of wheatgrass (*Triticum aestivum*) and its effects in treatment and chemoprevention." *Exploration of Medicine*, Vol.3, No 5, pp.432-44, 2022.
- [3] 황연현, 박지은, 장영호, 안재욱, 윤혜숙, "식물공장 내 광주기 및 광도가 흰민들레의 생육과 수량에 미치는 영향", 시설원예·식물공장, 제 25권 4호, pp.232-239, 2016년.
- [4] 서한률, 오승환, 이지우, 류재원, 전해찬, "초분광 영상을 활용한 복숭아 '미홍' 과실의 비파괴 품질 예측 모델", 생물환경조절학회지, 제 33권, 4호, pp.340-351, 2024년.
- [5] 김한기, 무함마드이크비앤디아리프, 김태현, 서현권, 조병관, "초분광 영상 및 딥러닝을 활용한 작물 수분 스트레스 조기 검출", 비파괴검사학회지, 제 42권 6호, pp.503-513, 2022년.