

보도일시	2024. 8. 12.(월) / 즉시 보도 가능
문의	담당자: 기획팀 박용준(02-880-4510)
	연구책임자 농업생명과학대학 바이오시스템공학과 정 수 교수(02-880-4606) / 교신처자

■ 제목/부제

제목	농업생명과학대학 정 수 교수, VIS/NIR 및 생체임피던스 분광법을 융합하여 식물 스트레스 진단 방법 개발 Integrating non-invasive VIS-NIR and bioimpedance spectroscopies for stress classification of sweet basil (<i>Ocimum basilicum</i> L.) with machine learning
----	--

■ 요약

연구 필요성	<ul style="list-style-type: none"> · 식물에 가해진 스트레스는 농업 생산성을 감소시키지만, 외관상으로는 스트레스의 종류를 확인하기 어렵기 때문에 농업 현장에서 적절한 대처를 하기 어려움 · 농업 현장에서 비파괴적으로 식물에 가해진 스트레스를 진단할 수 있는 방법을 개발하여, 농작업자가 적절한 조치를 취할 수 있는 의사결정 지표 마련 필요
연구성과/기대효과	<ul style="list-style-type: none"> · VIS/NIR 및 생체임피던스 분광법을 융합하고 머신러닝을 기반으로 90%의 정확도로 식물에 가해진 스트레스(가뭄, 고염, 냉해) 종류를 구별 가능 · 농작물에 가해진 스트레스 원인을 파악하여 적절한 대처 및 농작물 손실 방지
Journal Link	https://doi.org/10.1016/j.bios.2024.116579

■ 본문

□ 연구 배경

○ 식물은 스트레스를 받으면 생산성이 저하되기 때문에, 식물이 받은 스트레스의 종류를 진단하는 것은 효율적인 작물 관리와 생산성 증대에 필수적이다. 하지만 대부분의 식물은 스트레스를 받으면 외관상으로 시드는 형태로 유사하게 나타나기 때문에, 경험적으로 적절한 치료를 하기 어렵다. 따라서 농작물에 손상을 주지 않는 비파괴적인 방법으로 식물이 받은 스트레스를 진단하는 연구가 필요하다. 최근, VIS/NIR 분광법과 생체임피던스분광법(Bioimpedance spectroscopy)은 비파괴적인 방법으로 식물의 상태를 진단하기 위해 널리 연구되고 있다. 일반적으로 VIS/NIR

분광법은 식물 표면에 대한 광학적 정보를 수집하고, 생체임피던스분광법은 전기적 응답을 통해 식물 내부의 생리학적 구조에 대한 정보를 수집할 수 있다.

○ 서울대학교 농업생명과학대학 바이오시스템공학과 정수 교수는 한국전자통신연구원(ETRI)의 지원으로 본 연구를 시작하였으며, 기존에 널리 활용되는 VIS/NIR 및 생체임피던스 분광법을 융합하여, 식물의 표면정보와 내부 정보를 기반으로 식물 스트레스를 진단을 시도하였다. 연구결과, 두가지 방법을 융합하였을 때, VIS/NIR 분광법만을 사용했을 때보다 정확도가 24% 증가하여, 최대 90%의 정확도로 식물에 가해진 스트레스 종류를 진단할 수 있었다. 본 연구 결과는 2024년 7월 23일 바이오센서 및 전자공학 분야의 최상위 국제 학술지인 「Biosensors and Bioelectronics」에 게재되었다.

□ 주요 내용

○ 가뭄, 고염, 냉해와 같은 다양한 환경적 스트레스는 전 세계적인 작물 수확량 감소로 이어질 수 있다. 스트레스로 인한 식물의 손상을 초기에 감지하지 못하면, 넓은 범위에 걸친 농작물의 손실을 초래할 수 있다. 따라서 식물에 가해진 스트레스의 원인을 파악하고 적절한 시기에 조치하는 것이 필수적이다. 하지만, 대부분의 농부는 식물에 가해진 스트레스를 진단하기 위해 식물의 외관 상태를 참고하지만, 모든 농부가 적절한 치료를 위한 충분한 경험이 있는 것이 아니기 때문에, 식물에 손상을 주지 않는 비파괴적인 방법으로 식물의 상태를 진단하는 방법이 필요하다.

○ 본 연구에서는 비파괴적인 방법으로 식물을 진단하기 위해 활용되는 VIS/NIR 및 생체임피던스 분광법을 동시에 측정하고, 두 데이터를 융합하여 식물 스트레스 진단 성능이 개선될 수 있음을 확인하고자 하였다. 이를 위해 스위트바질 작물에 가뭄, 고염, 냉해 스트레스를 처리하고, 광학 스펙트로미터를 활용해 잎의 반사스펙트럼을 획득하고 임피던스분석기를 활용해 잎의 임피던스 스펙트럼을 획득하였다. 반사스펙트럼은 데이터의 규모가 매우 크고 불필요한 정보가 많기 때문에, 식물 건강 지표로 널리 활용되는 식생지수(Vegetation Index)를 계산하여 생체임피던스 데이터와 함께 머신러닝 모델을 학습하였다.

○ 총 여덟가지의 머신러닝 모델을 학습시킨 결과 서포트벡터머신(Support Vector Machine) 모델이 스트레스의 종류를 가장 높은 정확도로 구별해 낼 수 있었다. 광학스펙트럼 기반의 식생지수만을 활용했을 때는 스트레스 분류 정확도가 66%에 불과했지만, 생체임피던스 데이터와 융합했을 때 분류 성능은 90%의 높은 정확도로 개선되었다. 또한, 융합된 데이터를 기반으로 스트레스의 심각도를 진단했을 때 가뭄과 고염 스트레스에 대해서 최대 95%로 상당히 높은 정확도를 나타냈다.

○ 본 연구결과는 식물에 대한 광학적, 전기적 스펙트럼 데이터가 융합되어 식물의 스트레스를 높은 정확도로 진단할 수 있음을 제시하였으며, 두 가지 측정 방법은 모두 휴대형 현장 진단형 시스템으로 제작될 수 있기 때문에 현장에서의 활용 가능성이 높은 특징이 있다.

□ 연구결과



Contents lists available at ScienceDirect

Biosensors and Bioelectronics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/bios

Integrating non-invasive VIS-NIR and bioimpedance spectroscopies for stress classification of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) with machine learning

Daesik Son^a, Junyoung Park^{a,b}, Siun Lee^a, Jae Joon Kim^c, Soo Chung^{a,b,d,*}

^a Department of Biosystems Engineering, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

^b Integrated Major in Global Smart Farm, Seoul National University, Seoul, 08826, Republic of Korea

^c Flexible Electronics Research Section, Hyper-Reality Metaverse Research Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Daejeon, 34129, Republic of Korea

^d Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, 08826, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Keywords:

Bioimpedance
Vegetation index
Data fusion
Machine learning
Sweet basil
Stress classification

ABSTRACT

Plant stress diagnosis is essential for efficient crop management and productivity increase. Under stress, plants undergo physiological and compositional changes. Vegetation indices obtained from leaf reflectance spectra and bioimpedance spectroscopy provide information about the external and internal aspects of plant responses, respectively. In this study, bioimpedance and vegetation indices were noninvasively acquired from sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves exposed to three types of stress (drought, salinity, and chilling). Integrating the vegetation index, a novel approach, contains information about the surface of plants and bioimpedance data, which indicates the internal changes of plants. The fusion of these two datasets was examined to classify the types and severity of stress. Among the eight supervised machine learning models (three linear and five non-linear), the support vector machine (SVM) exhibited the highest accuracy in classifying stress types. Bioimpedance spectroscopy alone exhibited an accuracy of 0.86 and improved to 0.90 when fused with vegetation indices. Additionally, for drought and salinity stresses, it was possible to classify the early stage of stress with accuracies of 0.95 and 0.93, respectively. This study will allow us to classify the different types and severity of plant stress, prescribe appropriate treatment methods for efficient cost and time management of crop production, and potentially apply them to low-cost field measurement systems.

1. Introduction

Sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) is cultivated worldwide and is one of the most economically important herbs in various food, seasoning, perfume, cosmetic, and medicinal applications. It is an annual plant that grows best in warm weather conditions with sufficient sunlight and moisture, and it is highly sensitive to environmental changes such as drought and cold (Bączek et al., 2019). Stress on plants can induce damage to plants by compromising their photosynthetic capabilities, consequently leading to significant decreases in plant growth rates and productivity (Bechtold and Field, 2018). Various environmental stresses such as drought, flooding, heat, and frost could lead to a global decrease in crop yield (Lee et al., 2021). Failure to detect the stress-induced damage in the early stage may result in significant losses in large areas of crops. In addition, identifying the cause of stress is essential for

proper treatment. However, most farmers rely on visual recognition to diagnose plant stress, and not all farmers have enough experience in appropriate treatments, leading to delays in making accurate decisions (Houetohossou et al., 2023).

Recently, there have been efforts to enhance productivity and prevent damage to plants in controlled environment agriculture, such as indoor agriculture and vertical farming, by utilizing various environmental monitoring sensors. For example, temperature, humidity, and CO₂ sensors are used to increase crop productivity and provide suitable environmental conditions by monitoring and optimizing environmental conditions (Prakash et al., 2023). However, the data derived from these sensors serves as indirect environmental factors rather than direct indices of plant physiological health. It is difficult to recognize the stresses of plants from the sensors that measure environmental information. Therefore, it is necessary to diagnose the stress imposed on the

* Corresponding author. Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea.
E-mail address: soochung@snu.ac.kr (S. Chung).

<https://doi.org/10.1016/j.bios.2024.116579>

Received 29 February 2024; Received in revised form 27 June 2024; Accepted 16 July 2024

Available online 17 July 2024

0956-5663/© 2024 Published by Elsevier B.V.

□ 용어설명

○ VIS/NIR 분광법(Visible and NearInfrared Spectroscopy)

- 빛의 가시광선과, 근적외선 대역의 파장대역을 활용하여, 빛이 물질에서 반사되거나 흡수되는 특성을 활용하여 물질은 분석하는 데 활용된다.
- 생체임피던스 분광법(Bioimpedance Spectroscopy)
 - 넓은 주파수범위에 걸친 교류전원에 대한 생물조직의 전기적 응답 특성을 측정하는 방법으로, 생물조직의 저항 및 용량성 특성의 변화를 설명할 수 있다.
- 식생지수(Vegetation Index)
 - 방대한 분광 스펙트럼데이터에서 식물의 광합성 능력, 엽록소 및 수분함량 등을 나타내는 데 널리 활용된다. 주로 가시광대역과 근적외선대역 사이의 비율로 정의되며, 다양한 종류의 식생지수가 활용·연구 되고 있다.