

Библиографические ссылки

1. Nickel; whether toxic or essential for plants and environment / B. Shahzad [et al.] // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2018. – Vol. 132. – P. 641–651.
2. Мацкевич, В. С. Механизм трансмембранного и дальнего транспорта никеля в высших растениях / В. С. Мацкевич, В. В. Демидчик // *Экспериментальная биология и биотехнология*. – 2023. – №. 2. – С. 4–29.
3. Effects of nickel on growth and composition of metal micronutrients in barley plants grown in nutrient solution / H. Rahman [et al.] // *Journal of Plant Nutrition*. – 2005. – Vol. 28. – P. 393–404.
4. Demidchik, V. Mechanisms and physiological roles of K⁺ efflux from root cells / V. Demidchik // *J. Plant Physiol*. – 2014. – Vol. 171. – P. 696–707.
5. Demidchik, V. Physiological roles of nonselective cation channels in plants: from salt stress to signaling and development / V. Demidchik, F. Maathuis // *Tansley Review. New Phytol*. – 2007. – Vol. 175. – P. 387–405.
6. Molecular mechanism of heavy metal toxicity and tolerance in plants: central role of glutathione in detoxification of reactive oxygen species and methylglyoxal and in heavy metal chelation / M.A. Hossain [et al.] // *J. Bot*. – 2012. – Vol. 2012. – P. 1–37.
7. Ингибирование ростовых процессов и индукция запрограммированной клеточной гибели в корне *Helianthus annuus* L. под действием ионов никеля и никель-гистиридиновых комплексов / В. С. Мацкевич [и др.] // *Журнал Белорусского государственного университета. Биология*. – 2020. – №. 1. – С. 11–19.
8. Demidchik, V. Sodium fluxes through nonselective cation channels in the plasma membrane of protoplasts from *Arabidopsis* roots / V. Demidchik, M. Tester // *Plant Physiology*. – 2002. – Vol. 128, № 2. – P. 379–387.

Анализ морфологических симптомов поражения декоративных растений фитопатогенами с использованием подходов цифрового фенотипирования

**Кошиц Т. О.^{A*}, Прохорчик П. О.^A, Бондаренко В. Ю.^A,
Демидчик В. В.^A**

^A *Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь. *E-mail: tanya.koschits@icloud.com*

Активные формы кислорода (АФК) играют важную роль в процессе поражения растений фитопатогенами. АФК могут оказывать как защитное действие, способствуя гибели патогенов, так и повреждать растительные ткани, усиливая симптомы поражений [1, 2]. Визуальная диагностика позволяет фиксировать проявления этих процессов на уровне тканей и органов растений. Наличие некрозов, хлорозов, пятен и деформаций листьев часто связано с локальными вспышками продукции АФК в ответ на патогенное воздействие. Аннотация и анализ изображений помогают выявлять

и классифицировать эти симптомы, что может быть полезным для понимания механизмов окислительного стресса и разработки стратегий защиты растений от фитопатогенов.

Целью исследования являлось установление особенностей поражений листьев декоративных растений патогенными организмами с использованием технологии машинного обучения и цифрового фенотипирования.

Сбор данных осуществлялся путем самостоятельной съемки с помощью цифровых зеркальных фотоаппаратов (Canon EOS 600D; Nikon D3400) на территории Учебно-опытного республиканского унитарного предприятия «Щемыслица» Белорусского государственного университета и Памятника природы республиканского значения «Дубрава», а также путем извлечения изображений из внешних баз данных. Изображения классифицировались по типам поражений и снабжались метками, соответствующими 11 классам поражений: ожоги, мучнистая роса, хлорозы, пятнистости, черная гниль, ложная мучнистая роса, вирус мозаики, ржавчина, парша, трипсы и белокрылки. Для классификации типов поражения декоративных растений фитопатогенами в данной работе использовалось семейство нейронных сетей EfficientNets, архитектура которых основана на принципе композитного масштабирования, что позволяет одновременно увеличивать глубину, ширину и разрешение сети для достижения оптимального баланса между точностью и вычислительными затратами. Выбор наиболее подходящей архитектуры и подбор гиперпараметров проводился с использованием набора данных, содержащего по 300-400 изображений четырех классов поражений. Основное обучение моделей проводилось на большем наборе данных, включающих собственные изображения и изображения из баз данных. Получены результаты с высокой точностью классификации различных типов для большинства классов, что подтверждается метриками. Наиболее высокую точность и F1-меру продемонстрировали модели для определения симптомов черной гнили (F1-Score 0.80), ложной мучнистой росы (F1-Score 0.83) и мучнистой росы (F1-Score 0.82). Полученные результаты демонстрируют возможность применения цифрового фенотипирования для диагностики заболеваний декоративных растений.

Библиографические ссылки

1. Sharma, P. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions // *Journal of Botany*. – 2012. – № 1. – P. 217-231.
2. Simko, I. Phenomic Approaches and Tools for Phytopathologists / Simko I., Jimenez-Berni J. A., Sirault X. R. R. // *Phytopathology*®. – 2017. – № 1 (107). – P. 6-17.