

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОГО ФЕНОТИПИРОВАНИЯ И КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ У *ARABIDOPSIS* *THALIANA*

А. С. Савицкий

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,  
220030, г. Минск, Беларусь, [artyom.savitski@yandex.ru](mailto:artyom.savitski@yandex.ru)  
Научный руководитель — В. В. Демидчик, член-корреспондент НАН Беларуси,  
доктор биологических наук

Высокопроизводительное цифровое фенотипирование является новейшей методикой, позволяющей получать детальную информацию о процессах роста и развития высших растений и выявлять закономерности функционирования физиологических живых систем растений важным инструментом для улучшения селекции стрессоустойчивых культур, поскольку обеспечивает возможность анализа и описания морфологических признаков при помощи перевода их в массив цифровых данных. Использование библиотек компьютерного зрения, а также машинного обучения позволило повысить эффективность этого подхода.

**Ключевые слова:** феномика; высокопроизводительное цифровое фенотипирование; компьютерное зрение; машинное обучение.

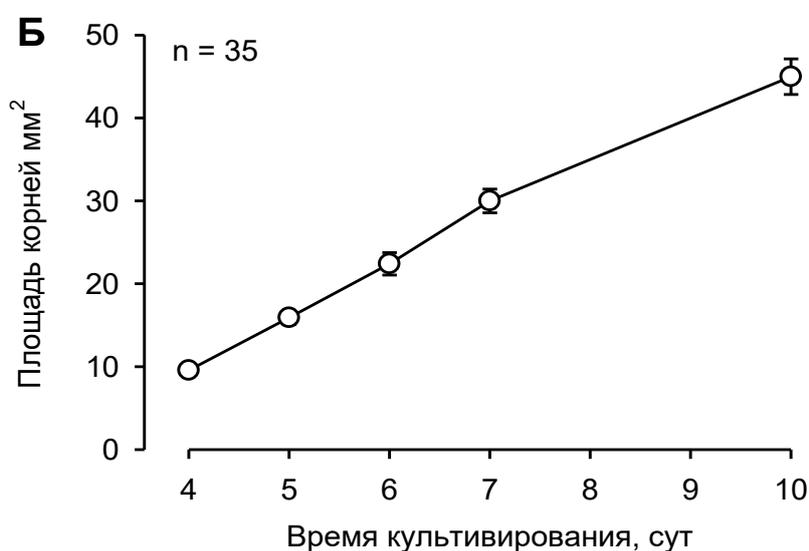
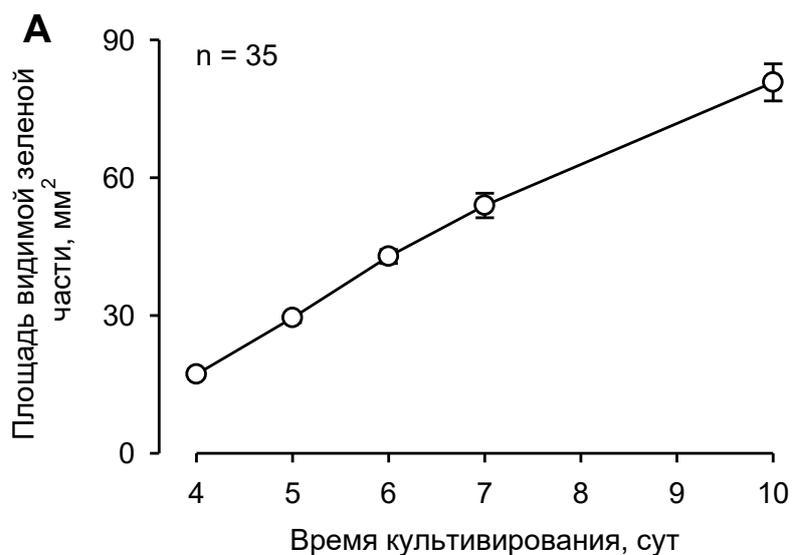
Современное сельское хозяйство в условиях глобального изменения климата требует создания новых сортов культурных растений, устойчивых к высоким температурам, засухе и засолению [1]. Также исключительно важна систематизация модификаций морфолого-физиологических характеристик растений под действием стрессовой нагрузки. Для исследования фенотипа на цифровом уровне в последние годы все более активно развиваются методы так-называемой феномики – новой области на стыке физиологии растений и биоинформатики. В феномике процессы сбора и анализа фенотипических данных растений автоматизируются и обрабатываются при помощи методов машинного обучения. В последнее время внедрение технологий цифрового фенотипирования растений изменило селекционные походы и исследования по морфологии растений [2]. Целью данной работы является разработка комплекса компьютерных программ, позволяющего автоматизировать сбор и произвести глубокий анализ цифровых изображений растений *Arabidopsis thaliana* в условиях *in vitro*.

В работе использовалась культура молодых растений *Arabidopsis thaliana*, выращенная в *in vitro*. Растения выращивались на стандартной питательной среде Мурасиге-Скуга компании Duchefa (Харлем,

Нидерланды) [3]. Чашки с высаженными семенами выдерживались в течение 2 сут при температуре 4°C в темноте. Это требовалось для прерывания периода покоя семян. В дальнейшем чашки перемещались в стерильный ростовой кабинет с контролируемыми параметрами освещенности (100  $\mu\text{моль фотонов м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , световой режим 16/8, 20В) и температуры (22°C), где они выращивались в течение 6-12 дней. В течение всего периода выращивания чашки размещались вертикально, что способствовало развитию корней проростков на поверхности питательной среды. Для получения изображений использовался софтбокс для фотографирования с синим антибликовым фоном и регулируемым освещением, позволяющий получать высококонтрастные изображения растительных объектов. Съемка выполнялась на цифровую SLR-камеру Nikon D3400. Работа проводилась с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV, которая включает различные инструменты для анализа изображений [3]. Также использовалась библиотека машинного обучения scikit-learn для обучения предсказательной модели, которая принимает на вход площади листьев и корней и выдает в качестве предсказания значения сырой и сухой биомассы [3].

В ходе проведенной работы был разработан комплекс алгоритмов, позволяющий обнаруживать корни и листья на изображениях и анализировать их. Программа способна измерять площадь зеленой части растения и корней и создавать отчет с вычисленными параметрами. Отчет может использоваться для обучения модели предсказания. После обучения модель достигла точности 96,6% по метрике R-квадрата на тестовом наборе данных. Программа разработана для автоматической работы, пользователю требуется только предоставить исходные изображения. На рисунке показаны полученные в результате работы программы данные по приросту площадей видимой зеленой части.

Размер листа связан со свойствами энергетического и водного баланса всего растения. Вариация размеров листьев связана с климатическими, географическими факторами, к примеру, значением высоты над уровнем моря, тепловым стрессом, холодным стрессом, засухой и ионизирующим излучением [4]. В случае влияния большого количества стрессоров на растение наблюдается уменьшение размеров листа. Аналогичные изменения происходят в корнях [4].



Изменение площади видимой зеленой части:  
 а – *Arabidopsis thaliana*; б – площади корней во время культивирования

В результате проведенной работы разработано программное обеспечение на языке Python для анализа изображений *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. в культуре *in vitro*. Создана предсказательная модель сырой и сухой биомассы корней и листьев *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., которая принимает на вход значения площадей корней и листьев, найденных в ходе анализа изображений. Разработанное программное обеспечение подходит для применения в качестве неинвазивного метода анализа роста и развития *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. в культуре *in vitro* для сбора фенотипических данных с целью их дальнейшего анализа посредством цифровой феномики.

## Библиографические ссылки

1. *Watt M.* Phenotyping: new windows into the plant for breeders // Annual review of plant biology. 2020. Vol. 71. P. 689-712.
2. *Sanchez-Serrano J. J., Salinas J.* Arabidopsis protocols. London: Humana Press, 2014.
3. *Lee U.* An automated, high-throughput plant phenotyping system using machine learning-based plant segmentation and image analysis // PloS one. 2018. Vol. 13. P. e0196615.
4. *Cornelissen J. H.* A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide // Australian J. Botany. 2003. Vol. 51.P. 335-380.