

РАЗРАБОТКА ФЕНОМНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДЕКОРАТИВНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

А. Ю. Шашко, В. Ю. Бондаренко

Белорусский государственный университет, г. Минск;

antonina.shashko@gmail.com;

науч. рук. – В. В. Демидчик, д-р биол. наук, доц.

Феномика – современная научная область, объединяющая биологию, математику и компьютерные науки для получения и анализа информации о фенотипах живых организмов, в частности растений. Феномные данные широко применяются при селекции высокопродуктивных и стрессоустойчивых сортов, а также видов с ценными декоративными признаками. Одним из неизученных пока разделов в данной области является фенотипирование саженцев древесных растений. В настоящей работе целью было создание системы фенотипирования черенков *Thuja occidentalis* L. (сорт Smaragd), *Juniperus scopulorum* Sarg. (сорт Blue Arrow), *Picea abies* L., Н. Karst. на основе алгоритмов компьютерного зрения. В результате был создан комплекс, тестирование которого показало, что изменения кривых распределения пикселей RGB-изображений по длинам волн могут служить основой оценки физиологического состояния черенков и использоваться для неинвазивной регистрации влияния различных условий среды или химических агентов (фитогормонов) на жизнеспособность саженцев декоративных древесных растений. Разработанная система может быть использована как в фундаментальных исследованиях, так и в прикладной биологии, в частности, в декоративном питомниководстве.

Ключевые слова: феномика растений; компьютерное зрение; декоративные древесные растения.

ВВЕДЕНИЕ

Феномика – это активно развивающееся направление современной биологии, нацеленное на выявление закономерности формирования и функционирования фенотипов живых систем. Работы в области феномики растений направлены на изучение их роста и развития, физиологических и адаптационных реакций, создание сортов с ценными сельскохозяйственными или декоративными признаками [1–4]. Регистрация феномных данных может осуществляться широким спектром датчиков от RGB-камер до различного рода томографов, гиперспектральных, термальных и флуоресцентных сенсоров [5]. Анализ полученных данных производится, как правило, автоматически при помощи специализированного программного обеспечения. Наиболее часто и эффективно используются технологии компьютерного зрения и машинного обучения [6, 7]. Эти методы позволяют осуществлять детекцию и классификацию растительных объектов, определение их морфо-физиологических пара-

метров [8]. Одним из направлений феномики, которое остается недостаточно развитым, является фенотипирование древесных видов, что обусловлено как крупными размерами и продолжительным жизненным циклом данных растений, так и отсутствием соответствующих теоретических подходов и программных средств. В феномике древесных растений на данный момент преобладают исследования на базе гиперспектральных датчиков [9, 10], что дает информацию о размерах, форме, наличии заболеваний или водного дефицита у больших групп изучаемых растений.

Цель настоящего исследования – разработка системы фенотипирования укореняющихся черенков древесных растений на базе алгоритмов компьютерного зрения. Для этого решались задачи подбора компонентов феномной системы, тестирования ее функциональности в лабораторных и полевых условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – черенки туи западной (*Thuja occidentalis* L., сорт Smaragd), можжевельника скального (*Juniperus scopulorum* Sarg., сорт Blue Arrow) и ели обыкновенной (*Picea abies* L., Н. Karst.), культивируемые в нестерильных условиях. Все эти растения широко применяются в городском и частном озеленении благодаря своей декоративности, нетребовательности к условиям местообитания, а также простоте культивирования. В ходе экспериментов использовались черенки туи западной, полученные от элиты деревьев маточной плантации УП «Щемыслица» БГУ. Отбирались черенки размерами 7–15 см со здоровой зеленой хвоей, далее помещались в раствор антиоксидантов и высаживались в проавтоклавированный субстрат (торф: вермикулит в соотношении 1:1 по объему). Культивационные емкости с черенками помещались на ростовые стеллажи, оснащенные системой освещения из 6 светодиодных ламп (11 Вт; 3000 К; 850 Лм) с режимом 16/8 ч (свет/темнота), при температуре 22 °С и относительной влажности 70 %. Для тестирования разработанного комплекса в условиях открытого грунта (т. е. вне контролируемых условий лабораторного помещения) часть черенков после укоренения высаживалась в теплицы на базе УП «Щемыслица» БГУ.

Экспериментальная лабораторная часть исследования проводилась в феномном боксе из синего низкобликового пластика, включающем в себя культивационный трей, системы освещения и полива, система получения и анализа RGB-изображений, а также компьютер. По четырем сторонам от трея располагались осветители и SLR-камеры NIKON D3400; расстоя-

ние от осветителей и камер до объекта фенотипирования фиксировалось благодаря использованию настраиваемых стоек и штативов.

Для работы с камерами, управления феномной системой и анализа данных сотрудниками факультета прикладной математики и информатики создана компьютерная программа «Система автоматического получения и вывода RGB-имиджей», итогом функционирования которой являются кривые распределения пикселей по длине волны. Следует отметить, что показатели длин волн – это приближенная интерпретация параметра H цветовой модели HSV, но не абсолютное их значение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для тестирования программы была сформирована база данных изображений туи западной, можжевельника скального и ели обыкновенной, для чего идентичные по возрасту и физиологическому состоянию растения разделялись на две группы: контрольную (стандартный полив) и подверженную водному дефициту. Анализ полученных имиджей, продемонстрировал отличия спектральных свойств изображений растений в разных физиологических состояниях.

Для отработки протоколов фенотипирования в условиях открытого грунта регистрация изображений осуществлялась так же, с четырех сторон SLR-камерами на штативах. Были протестированы черенки туи западной, можжевельника скального, а также ели обыкновенной, обрабатываемые в процессе культивирования различными фитогормонами. В результате были зарегистрированы статистически достоверные смещения пиков на кривых распределения пикселей по длине волны под действием различных химических агентов, что позволяет делать выводы об изменении физиологического состояния тестируемых черенков.

Разработанная программа обеспечивает получение данных о спектральных характеристиках растений, а также производит оценку их жизнеспособности. Подобным функционалом обладает ряд феномных программ, однако все они базируются на дорогостоящем и ресурсоемком гиперспектральном анализе или методах термального и стереоимиджинга [11].

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы: разработанный и собранный модульный феномный комплекс обладает функциями, необходимыми для применения в лаборатории и в условиях открытого грунта, и обеспечивает регистрацию и анализ имиджей как одиночных растений, так и их групп; по изменению кривых распределения пикселей по длинам волн, получаемых при помощи программы «Система автоматического получения и вывода RGB-имиджей», можно судить об изменении физиологического состоя-

ния черенков древесных растений; в частности, продемонстрировано смещение пиков спектра отражения в длинноволновую область под действием водного дефицита, а также изменение конфигурации пиков при внесении в среду культивирования различных фитогормонов.

Библиографические ссылки

1. *Furbank R. T, Tester M.* Phenomics – technologies to relieve the phenotyping bottleneck // *Trends in Plant Science*. 2011. Vol. 16, № 12. P. 635–644. DOI: 10.1016/j.tplants.2011.09.005.
2. *Awada L., Phillips P. W. B., Smyth S. J.* The adoption of automated phenotyping by plant breeders // *Euphytica*. 2018. № 214:148. DOI: 10.1007/s10681-018-2226-z.
3. *Araus J. L., Cairns J. E.* Field high-throughput phenotyping: The new crop breeding frontier // *Trends in Plant Science*. 2014. № 19 (1). P. 52–61. DOI: 10.1016/j.tplants.2013.09.008.
4. *Wallace A., Nichol C., Woodhouse I.* Recovery of forest canopy parameters by inversion of multispectral LiDAR data. *Remote Sensing*. 2012. № 4 (2). P. 509–531. DOI: 10.3390/rs4020509.
5. *Li L, Zhang Q, Huang D.* A review of imaging techniques for plant phenotyping // *Sensors*. 2014. Vol. 14. P. 20078–20111. DOI: 10.3390/s141120078.
6. Computer vision and machine learning for robust phenotyping in genome-wide studies / J. Zhang [et al.] // *Scientific Reports*. 2017. № 7. P. 440–448. DOI: 10.1038/srep44048.
7. An explainable deep machine vision framework for plant stress phenotyping / S. Ghosal [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2018. № 115 (18). P. 4613–4618. DOI: 10.1073/pnas.1716999115.
8. Acquisition of NIR-Green-Blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring / E. R. Hunt [et al.] // *Remote Sensing*. 2010. №2 (1). P 290–305. DOI: 10.3390/rs2010290.
9. Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard / V. Gonzalez-Dugo [et al.] // *Precision Agriculture*. 2013. № 14 (6). P. 660–678. DOI: 10.1007/s11119-013-9322-9.
10. Phenotyping whole forests will help to track genetic performance / H. S. Dungey [et al.] // *Trends in Plant Science*. 2018. № 23 (10). P. 854–864. DOI: 10.1016/j.tplants.2018.08.005.
11. Hyperspectral estimation of canopy leaf biomass phenotype per ground area using a continuous wavelet analysis in wheat / X. Yao [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. 2018. № 9:1360. DOI: 10.3389/fpls.2018.01360.