

Отзыв

официального оппонента

на диссертацию **Афонникова Дмитрия Аркадьевича** на тему **«Компьютерные методы высокопроизводительного фенотипирования растений»**, на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 1.5.8. – математическая биология, биоинформатика.

Технологии машинного зрения активно развиваются для решения прикладных задач в различных областях науки. Их применение становится все более актуальным для автоматизации научных исследований. Активное развитие применение методов компьютерного анализа изображений получило в последние годы при изучении растений. Это обусловлено тем, что в задачах фенотипирования растений требуется развитие высокопроизводительных, точных и неразрушающих методов. Этим требованиям вполне удовлетворяют методы, основанные на анализе цифровых изображений.

Актуальность подобных исследований обусловлена, в том числе, влиянием неблагоприятных климатических изменений на условия ведения сельского хозяйства в разных странах, что требует новых достижений в области генетики и селекции сельскохозяйственных растений, повышающих их урожайность и устойчивость к стрессовым факторам. Современные цифровые подходы и информационные технологии могут обеспечить существенный прогресс этих исследований.

Диссертация Афонникова Д.А. посвящена вопросам создания методов высокопроизводительного компьютерного фенотипирования растений, имеющих важное сельскохозяйственное значение, на основе анализа их цифровых изображений. Это направление исследований является актуальным, поскольку адаптация существующих алгоритмов к конкретным селекционно-генетическим задачам, развитие подобных подходов будет способствовать массовому получению фенотипических данных и более эффективному поиску новых генов у растений, ответственных за важные признаки.

С точки зрения информационных технологий диссертационная работа имеет прикладной характер. В ней исследования базируются на использовании существующих алгоритмов и программных библиотек для решения конкретных задач оценки фенотипических признаков растений на новом, более технологичном уровне по сравнению с тем, что применялось ранее. В результате разработаны новые подходы к фенотипированию, которые были интегрированы в платформу ICGPhenoPlant.

В рамках этой платформы впервые создан метод быстрой и точной оценки количественных характеристик опушения листьев растений (пшеницы, картофеля и табака) на основе изображений сгиба листа. Он позволяет оценивать не только плотность трихомов на листе, но и характеристики их размера (длины). Этот метод впервые позволил детально изучить опушение листа в коллекции образцов мягкой пшеницы и ее сородичей, выявить влияние генов контроля опушения у пшеницы на количественные характеристики трихомов, оценить вклад опушения в физиологический ответ растений на засуху. С помощью данного метода впервые проведено исследование разнообразия опушения листьев картофеля российской селекции, а также у растений табака, линий с повышенным содержанием пролина.

Создано приложение для мобильных устройств SeedCounter на платформе Андроид, которое позволяет оценивать характеристики размера и формы зерен пшеницы. Новизна подхода заключается в том, что фенотипирование может быть проведено за пределами лаборатории, не прибегая к использованию сканеров и персонального компьютера. Предложенный алгоритм затем был модифицирован, чтобы оценивать цветовые характеристики оболочки зерен на основе 2D изображений, полученных в лабораторных условиях. С помощью данного метода выявлены участки генома пшеницы (и ряд перспективных генов), которые вовлечены в контроль признаков зерен, впервые исследована связь признаков зерен пшеницы с длительностью хранения в условиях генетического банка, а также с всхожестью.

В рамках платформы фенотипирования впервые разработан метод оценки формы и размера колосьев с помощью геометрической модели, полученной на основе анализа контура на цифровом изображении. Показано, что параметры модели могут быть использованы для решения задачи предсказания типа колоса и его плотности.

Таким образом, в диссертации были ряд новых методов и подходов, направленных на решение проблемы фенотипирования ряда важных признаков растений и с их помощью были получены новые биологические результаты.

Дополнительную ценность диссертации придает то обстоятельство, что созданное программное обеспечение оказалось востребовано научным сообществом и использовалось как в научных исследованиях, так и в обучающих целях, что видно по числу загрузок мобильного приложения и цитирующим публикациям. Это свидетельствует о высокой практической ценности разработанных подходов.

По итогам диссертационной работы сформулированы ее основные положения и выводы, которые базируются на результатах обработки большого биологического материала. Для анализа были использованы все необходимые статистические тесты. При разработке методов анализа изображений проведено тестирование алгоритмов на отдельном наборе изображений, которые не использовались в подборе параметров алгоритма. Эта стандартная процедура была выполнена для всех разработанных методов и позволила оценить ряд стандартных мер точности алгоритмов, которые широко используются в задачах компьютерного зрения. Полученные оценки вполне соответствуют уровню точности, предъявляемым к подобным методам и являются объективными. Следует отметить, что при получении изображений в лаборатории и за ее пределами неизбежными факторами, влияющими на качество изображений, и, следовательно, на точность метода, являются условия освещения, разрешение камеры, взаимное расположение объекта съемки и камеры. В данной работе изучению этих факторов на точность оценки характеристик растений было уделено отдельное внимание, были использованы методы, позволяющие нивелировать часть из этих факторов (использование цветовой палитры). Таким образом, полученные в работе результаты являются достоверными, положения, выносимые на защиту и выводы являются обоснованными.

Диссертационная работа Афонникова Д.А. представляет собой комплексное исследование, которое затрагивает как разработку алгоритмов машинного зрения в области информатики, анализ биологических данных, связанных с изучением вариаций генов и физиологического ответа на стресс, биоинформатический анализ данных, создание баз данных. Дополнительная особенность: разнообразие объектов исследования и признаков растений, затронутое в работе. Тем не менее в тексте диссертации автору удалось изложить результаты исследования логично и понятно.

Работа включает Введение, 5 глав, включая Обзор литературы и 4 главы с описанием результатов работы, Заключение, Выводов, Списка публикаций по теме диссертации, Списка использованных сокращений, Списка литературы и Приложения. Объем работы составляет 391 лист. В работе 87 рисунков и 29 таблиц. Список литературы включает 438 источников.

Введение подчеркивает актуальность темы исследования в связи с необходимостью новых сортов сельскохозяйственных растений, по стандартному формату приведены цели работы, задачи, положения, выносимые на защиту. Обзор литературы включает описание задач и методов фенотипирования растений. Приведено описание базовых методов анализа

цифровых изображений, методов оценки их точности, применения методов фенотипирования растений в научных исследованиях.

В трех последующих главах приведены результаты исследования. Их структура в основном единообразна, а каждая глава посвящена анализу определенного признака растений (опущению листьев, характеристикам зерен, колосу). Начало глав посвящено краткому введению биологическую постановку задачи, охарактеризована важность признаков для исследователей и существующий научный задел при его изучении. Описывается биологический материал, использованный для анализа. Далее описывается протокол получения изображений для их дальнейшего анализа. Затем идет описание алгоритмов анализа изображений для оценки фенотипических параметров растений. После описания алгоритма идут разделы, связанные с оценкой точности разработанных методов. Далее описываются результаты анализа растений с помощью разработанных подходов и новые данные, которые описывают их связь с генотипом растений и влиянием факторов внешней среды. Такая структура глав свидетельствует о едином системном подходе к разработке и апробации методов фенотипирования.

Последняя, пятая глава посвящена разработке баз данных, интегрирующих информацию о фенотипе, генотипе и окружающей среде для растений (база данных WheatPGE) и характеристиках колосьев пшеницы (база данных SpikeDroid).

В заключении проведено обобщение полученных методических результатов в рамках фенотипической платформы ICGPhenoPlant, биологических результатов, полученных на ее основе, оценены перспективы дальнейшего развития методов фенотипирования растений и использования полученных биологических результатов.

Текст диссертации свидетельствует, что это большое завершённое научное исследование, проведенное на большом биологическом материале в рамках единой концепции, выполненное на высоком научном уровне. Содержание автореферата соответствует тексту и основным положениям диссертации.

По теме диссертационной работы опубликовано 24 работы, в том числе из них 12 в зарубежных и российских журналах, три авторских свидетельства. Результаты исследования были представлены на различных научных конференциях в России и за рубежом.

К работе есть ряд замечаний. В разделе Выводы нарушена нумерация. За выводом с номером 3 сразу идет вывод с номером 5 (аналогичная ошибка и в автореферате). Сопоставление выводов с остальными формальными

разделами (задачи исследования, положения, выносимые на защиту) и структурой результатов свидетельствует, что данная ошибка – результат опечатки, так как логика представленных выводов не нарушена.

Также в работе есть ряд других опечаток, которые не влияют на общий высокий уровень работы.

Заключение

Диссертация Афонникова Дмитрия Аркадьевича «Компьютерные методы высокопроизводительного фенотипирования растений», представленная на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 1.5.8. – математическая биология, биоинформатика, является законченной научно-квалификационной работой, полностью соответствующей требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук согласно п. 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а её автор, Афонников Дмитрий Аркадьевич, безусловно достоин присуждения искомой ученой степени доктора биологических наук по специальности 1.5.8. – математическая биология, биоинформатика.

Официальный оппонент



Ракутько Сергей Анатольевич

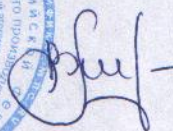
д.т.н., главный научный сотрудник
Института агроинженерных и
экологических проблем
сельскохозяйственного производства -
филиала Федерального научного
агроинженерного центра ВИМ (ИАЭП -
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

г. Санкт-Петербург

E-mail: sergej1964@yandex.ru

Тел. +7 965 768 33 23

Подпись рецензента удостоверяю
Ученый секретарь ИАЭП – филиал
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,
канд.техн.наук



В.Н.Миронов

2.10.2023