

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений

ПРОХОРЧИК
Полина Олеговна

**АНАЛИЗ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
РАСТЕНИЙ *PISUM SATIVUM* С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТЕХНИКИ ЦИФРОВОГО ФЕНОТИПИРОВАНИЯ**

Аннотация к магистерской диссертации

специальность 7-06-0511-05 «Биоинформатика»

Научный руководитель:
Демидчик Вадим Викторович
член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор биологических наук, профессор

Допущена к защите

«__» _____ 2024 г.

Зав. кафедрой клеточной биологии и биоинженерии растений

кандидат биологических наук, доцент

_____ О.Г. Яковец

Минск, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень условных обозначений	3
Общая характеристика работы	4
Агульная характарыстыка работы.....	5
General description of work.....	6
Введение.....	7
Глава 1 Обзор литературы.....	9
1.1 Морфология корневой системы <i>Pisum sativum</i>	9
1.1.1 Особенности строения корневой системы <i>Pisum sativum</i>	13
1.1.2 Особенности развития корневой системы растений при их культивировании в различных субстратах	15
1.2 Морфология надземной части растений <i>Pisum sativum</i>	22
1.3 3D-моделирование зелёной части растения	25
1.3.1 Использование походов машинного обучения и компьютерного зрения в биологии	33
1.3.2 Свёрточные нейронные сети.....	36
1.4 Основные феномные платформы и параметры цифрового фенотипирования растений.....	40
Глава 2 Объект и методы исследований	51
2.1 Объект исследования	51
2.2 Схема эксперимента.....	51
2.2.1 Культивирование <i>Pisum sativum</i> в почвенных субстратах.....	52
2.2.2 Измерение феномных характеристик растений с использованием системы Phenospex PlantEye F600	54
2.2.3 Анализ данных о морфологии и ростовых процессах растений <i>Pisum</i> <i>sativum</i>	56
2.2.4 Анализ спектральных данных при помощи методов машинного обучения	59
2.3 Статистическая обработка.....	61
Глава 3 Результаты и их обсуждение	64
3.1 Сравнительный анализ фенотипических признаков растений <i>Pisum</i> <i>sativum</i> L.	64
3.2 Сравнительный анализ физиологического состояния растений на основе статистического анализа.....	86
3.3 Результаты методов машинного обучения	99
Заключение	101
Список использованных источников	103

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Магистерская диссертация 115 с., 41 рис., 5 табл., 163 источников.

ФЕНОМИКА РАСТЕНИЙ, МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ,
ФЕНОТИПИРОВАНИЕ, СТРЕСС, ФЕНОМНАЯ ПЛАТФОРМА,
3D-СКАНЕР, СПЕКТРАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ.

Объектам исследования в настоящей работе являлся горох полевой (*Pisum sativum* L.).

Целью работы являлся анализ стресс-индуцированных изменений физиологических характеристик растений *Pisum sativum* с применением техники цифрового фенотипирования.

Основные методы исследования: культивирование *Pisum sativum* в почвенных субстратах, воздействие стресс-факторами на растения, техника высокопроизводительного фенотипирования, идентификация морфологических и спектральных параметров растений с помощью специализированного программного обеспечения, статистические методы анализа полученных данных на базе подходов машинного обучения.

В результате проведённых опытов были получены данные цифрового фенотипирования *Pisum sativum* L. в контроле и при воздействии засоления. Использование цифрового фенотипирования позволило выявить, что засоление 0,1 и 0,3 М NaCl в различных почвенных субстратах (песок, вермикулит, смесь песка и вермикулиты (1:1, V:V)) вызывает статистически значимые изменения морфологических и физиологических характеристик растений *Pisum sativum*. Эти изменения включают снижение высоты растений, уменьшение биомассы и площади листьев, увеличение глубины проникновения света и уменьшение угла наклона листьев. Корреляционный анализ по Пирсону показал, что у обработанных NaCl и контрольных растений *Pisum sativum* в трех различных комбинациях почвенных субстратов, существует взаимосвязь между параметрами. Дополнительный анализ, использующий методы машинного обучения для предсказания меток классов, описывающих условия выращивания растений, показал, что RandomForestClassifier достиг наивысшей точности – 81%.

АГУЛЬНАЯ ХАРАКТЕРЫСТЫКА РАБОТЫ

Магістарская дысертация 115 с., 41 мал., 5 табл., 163 крыніц.

ФЕНОМІКА РАСЛІН, МАШЫННАЕ НАВУЧАННЕ, ФЕНАТЫПРАВАННЕ, СТРЭС, ФЕНОМНАЯ ПЛАТФОРМА, 3D-СКАНЕР, СПЕКТРАЛЬНЫЯ ДАДЗЕННЫЯ.

Аб'ектам даследавання ў сапраўднай працы з'яўляўся гарох пасяўной (*Pisum sativum* L.).

Мэтай працы з'яўляўся аналіз стрэс-індукаваных змяненняў фізіялагічных характарыстык раслін *Pisum sativum* з ужываннем тэхнікі лічбавага фенатыпавання.

Асноўныя метады даследавання: культываванне *Pisum sativum* ў глебавых субстратах, ўздзеянне стрэс-фактарамі на расліны, тэхніка высокапрадукцыйнага фенатыпавання, ідэнтыфікацыя марфалагічных і спектральных параметраў раслін з дапамогай спецыялізаванага праграмнага забеспячэння, статыстычныя метады аналізу атрыманых дадзеных на базе падыходаў машыннага навучання.

У выніку праведзеных досведаў былі атрыманы дадзеныя лічбавага фенатыпавання *Pisum sativum* L. у кантролі і пры ўздзеянні засалення. Выкарыстанне лічбавага фенатыпіравання дазволіла выявіць, што засаленне 0,1 і 0,3 М NaCl у розных глебавых субстратах (пясок, вермікуліт, сумесь пяску і вермікуліты (1:1, V:V)) выклікае статыстычна значныя змены марфалагічных і фізіялагічных характарыстык раслін *Pisum sativum*. Гэтыя змены ўключаюць зніжэнне вышыні раслін, памяншэнне біямасы і плошчы лісця, павелічэнне глыбіні пранікнення святла і памяншэнне кута нахілу лісця. Карэляцыйны аналіз па Пірсона паказаў, што ў апрацаваных NaCl і кантрольных раслін *Pisum sativum* у трох розных камбінацыях глебавых субстратаў, існуе ўзаемасувязь паміж параметрамі. Дадатковы аналіз, які выкарыстоўвае метады машыннага навучання для прадказання пазнак класаў, якія апісваюць ўмовы вырошчвання раслін, паказаў, што RandomForestClassifier дасягнуў найвышэйшай дакладнасці – 81%.

GENERAL DESCRIPTION OF WORK

Dissertation 115 p., 41 fig., 5 tables, 163 sources.

PLANT PHENOMICS, MACHINE LEARNING, PHENOTYPING, STRESS, PHENOMATIC PLATFORM, 3D SCANNER, SPECTRAL DATA.

The object of research in this work was the seed pea (*Pisum sativum* L.).

The purpose of the work was to analyze stress-induced changes in the physiological characteristics of *Pisum sativum* plants using the technique of digital phenotyping.

The main research methods are the cultivation of *Pisum sativum* in soil substrates, the effect of stress factors on plants, the technique of high-performance phenotyping, identification of morphological and spectral parameters of plants using specialized software, statistical methods for analyzing the data obtained based on machine learning approaches.

As a result of the experiments, data on the digital phenotyping of *Pisum sativum* L. were obtained. in control and under the influence of salinization. The use of digital phenotyping revealed that salinization of 0.1 and 0.3 M NaCl in various soil substrates (sand, vermiculite, a mixture of sand and vermiculite (1:1, V:V)) causes statistically significant changes in the morphological and physiological characteristics of *Pisum sativum* plants. These changes include a decrease in plant height, a decrease in biomass and leaf area, an increase in the depth of light penetration and a decrease in the angle of inclination of the leaves. Pearson correlation analysis showed that in NaCl-treated and control *Pisum sativum* plants in three different combinations of soil substrates, there is a relationship between the parameters. An additional analysis using machine learning methods to predict class labels describing plant growing conditions showed that RandomForestClassifier achieved the highest accuracy – 81%.