

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ФЕНОТИПИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ *ARABIDOPSIS THALIANA*

Савицкий А.С.^а, Демидчик В.В.^а

^аБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь
*Email: artyom.savitski@gmail.com

Введение

Высокопроизводительное изучение морфометрических характеристик роста и развития растений с помощью новейших технологий компьютерного зрения, машинного обучения позволяет улучшить селекцию стрессоустойчивых культур. Это позволяет проанализировать и описать морфологические признаки растений, переведя их в цифровые данные, что делает методику цифрового фенотипирования важным инструментом для исследования физиологических свойств растительных организмов. Повышение эффективности этого подхода стало возможным благодаря использованию библиотек компьютерного зрения, машинного обучения. Применение сверточных нейронных сетей является неотъемлемым и важным компонентом высокопроизводительного цифрового фенотипирования, поскольку способны автоматически извлекать и выделять ключевые признаки из изображений растений, что позволяет оптимизировать процесс анализа и классификации различных морфологических характеристик.

Материалы и методы

Для исследования использовалась культура молодых растений *Arabidopsis thaliana in vitro*, выращенная на стандартной питательной среде Мурасиге-Скуга . Фотографирование культуры производилось в софтбоксе с синим антибликовым фоном и регулируемым освещением, позволяющий получать высококонтрастные изображения растений. Работа проводилась с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV, библиотеки машинного обучения scikit-learn для обучения предсказательной модели. Для работы с нейронной сетью использовался фреймворк глубокого обучения PyTorch. Было применено трансферное обучение модели Mask R-CNN в связке с ResNet-50-FPN. Дополнительное обучение модели проводилось на размеченном датасете культуры *Arabidopsis thaliana* L. Heynh *in vitro*, состоящем из более 100 изображений (рисунок 1). В качестве инструмента разметки данных для обучения сверточной нейронной сети была использована программа labelme, позволяющая генерировать аннотации изображений в полуавтоматическом режиме.

Результаты

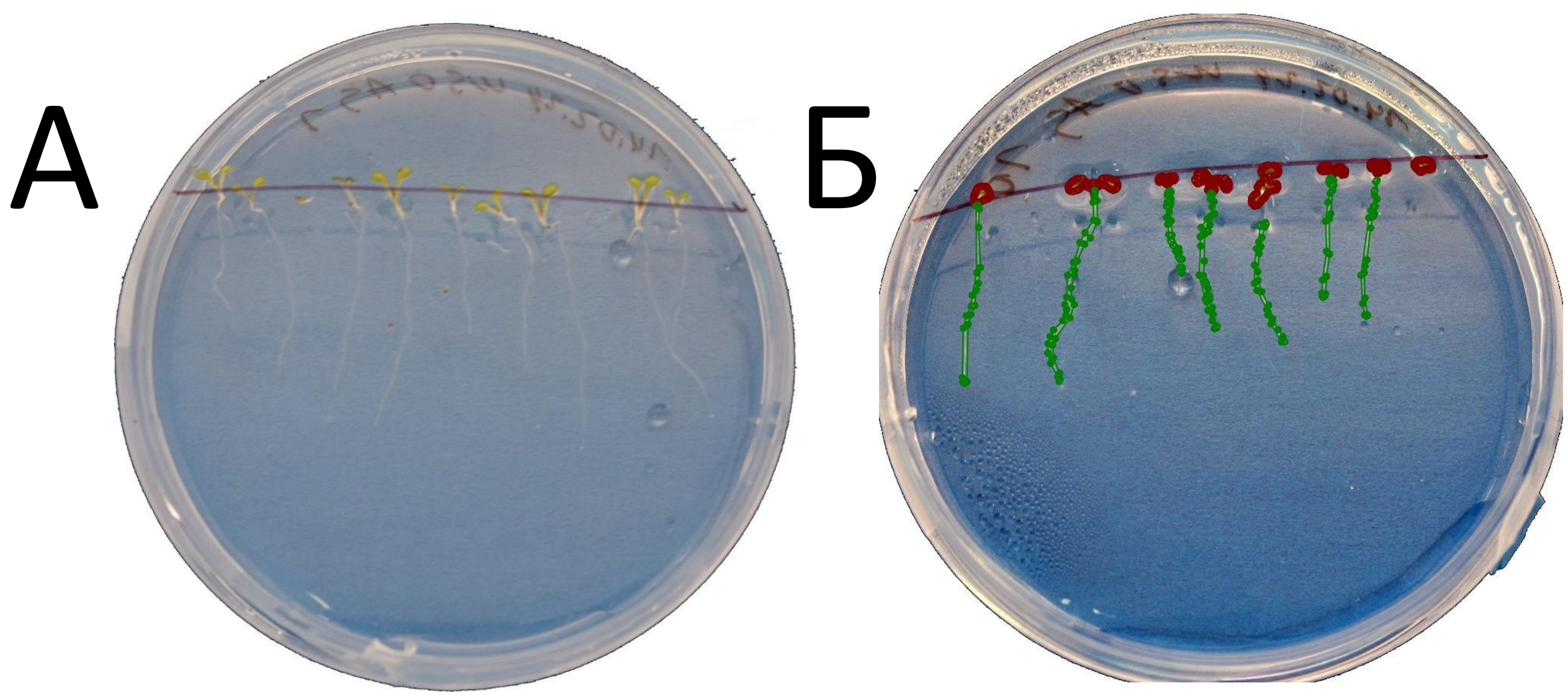


Рисунок 1. Фото культуры *Arabidopsis thaliana* L. Heynh *in vitro*. А – изображение, подготовленное для анализа. Б – изображение, размеченное нейросетью.

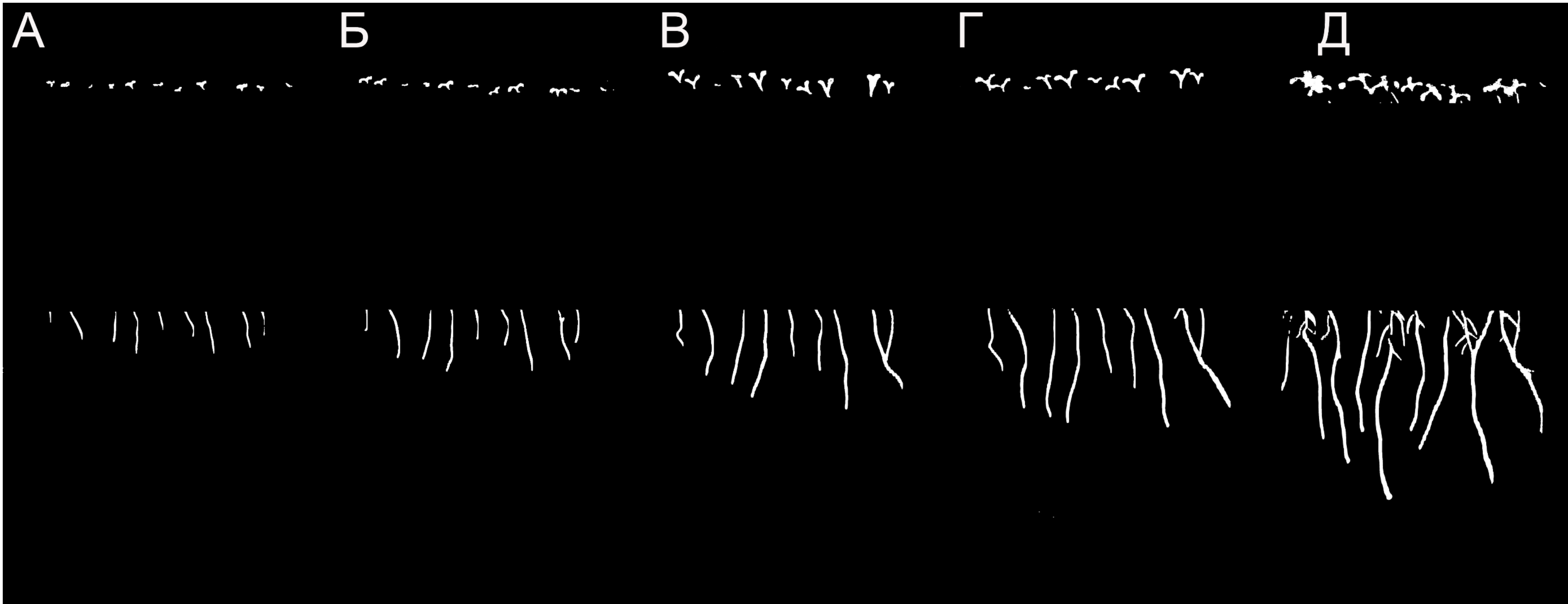


Рисунок 2. Результаты фенотипирования листьев и корней одной чашки Петри культуры *Arabidopsis thaliana* L. Heynh *in vitro*. А – фенотипированные изображения листьев и корней на 4 сутки, Б – 5 сутки, В – 6 сутки, Г – 7 сутки, Д – 10 сутки.

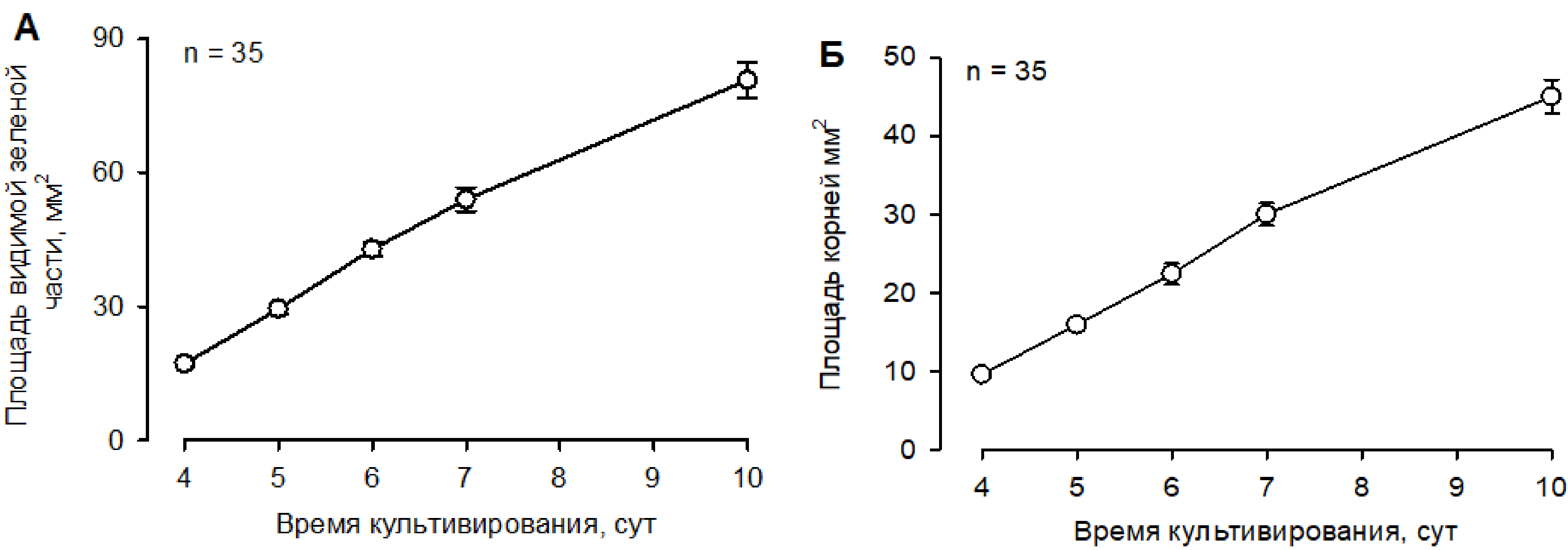


Рисунок 3. Изменение площади видимой зеленой части (А) и площади корней (Б) *Arabidopsis thaliana* L. Heynh. Данные являются средними ($\pm S\bar{x}$) для 35 измерений, каждое из которых представляет собой результат анализа морфологических параметров растений одной чашки (культура целых растений).

Данные о площадях листьев и корней, полученных в результате фенотипирования с использованием сверточной нейронной сети, в дальнейшем используются для предсказания сырой и сухой биомассы при помощи обученной на экспериментальных данных модели нелинейной регрессии Multitask Elastic Net. Таким образом, в результате работы разработанного комплекса программ по фотографиям растений можно установить площадь их органов, сырую и сухую биомассу. Подобный анализ позволяет понять, как растения адаптируются к внешним условиям и оптимизируют свои физиологические процессы.

Выводы

– Было разработано ПО на языке Python для анализа изображений *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. в культуре *in vitro*. Программный комплекс показал высокую точность измерений и был верифицирован при помощи ручного анализа морфометрических показателей растений.
– Создана выборка аннотированных изображений для обучения нейронной сети.

Обучена

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ФЕНОТИПИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ *ARABIDOPSIS THALIANA*

Савицкий А.С.^а, Демидчик В.В.^а

^аБелорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь

*Email: artyom.savitski@gmail.com

Введение

Высокопроизводительное изучение морфометрических характеристик роста и развития растений с помощью новейших технологий компьютерного зрения, машинного обучения позволяет улучшить селекцию стрессоустойчивых культур. Это позволяет проанализировать и описать морфологические признаки растений, переведя их в цифровые данные, что делает методику цифрового фенотипирования важным инструментом для исследования физиологических свойств растительных организмов. Повышение эффективности этого подхода стало возможным благодаря использованию библиотек компьютерного зрения, машинного обучения. Применение сверточных нейронных сетей является неотъемлемым и важным компонентом высокопроизводительного цифрового фенотипирования, поскольку способны автоматически извлекать и выделять ключевые признаки из изображений растений, что позволяет оптимизировать процесс анализа и классификации различных морфологических характеристик.

Материалы и методы

Для исследования использовалась культура молодых растений *Arabidopsis thaliana in vitro*, выращенная на стандартной питательной среде Мурасиге-Скуга. Фотографирование культуры производилось в софтбоксе с синим антибликовым фоном и регулируемым освещением, позволяющий получать высококонтрастные изображения растений. Работа проводилась с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV, библиотеки машинного обучения scikit-learn для обучения предсказательной модели. Для работы с нейронной сетью использовался фреймворк глубокого обучения PyTorch. Было применено трансферное обучение модели Mask R-CNN в связке с ResNet-50-FPN. Дополнительное обучение модели проводилось на размеченном датасете культуры *Arabidopsis thaliana* L. Heynh *in vitro*, состоящем из более 100 изображений (рисунок 1). В качестве инструмента разметки данных для обучения сверточной нейронной сети была использована программа labelme, позволяющая генерировать аннотации изображений в полуавтоматическом режиме.

Выводы

- Было разработано ПО на языке Python для анализа изображений *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. в культуре *in vitro*. Программный комплекс показал высокую точность измерений и был верифицирован при помощи ручного анализа морфометрических показателей растений.
- Создана выборка аннотированных изображений для обучения нейронной сети.
- Обучена сверточная нейронная сеть, позволяющая извлекать с изображения маски листьев и корней.
- Разработанное ПО подходит для применения в качестве неинвазивного метода анализа роста и развития *Arabidopsis thaliana* в культуре *in vitro* для сбора фенотипических данных с целью их дальнейшего анализа посредством методов цифровой феномики.

Результаты

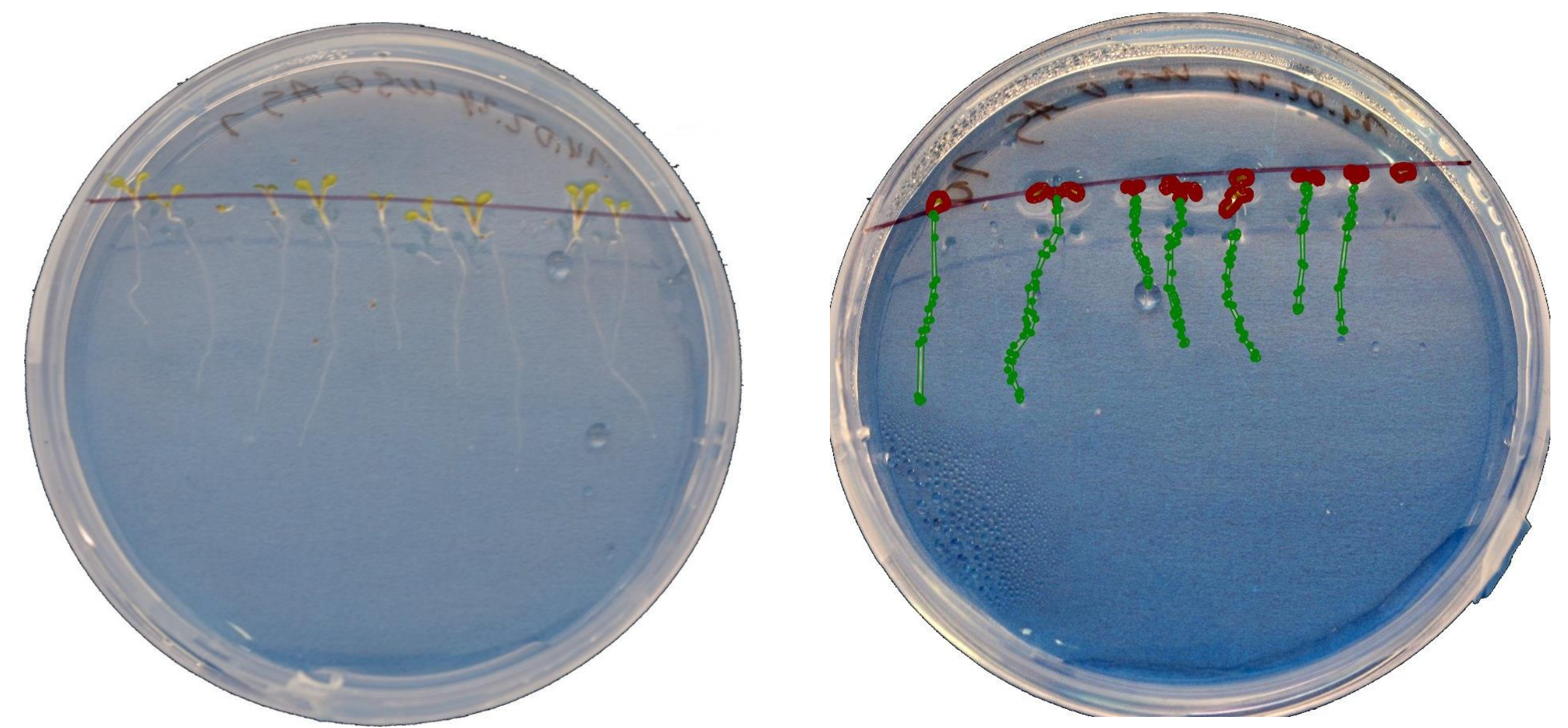


Рисунок 1. Фото культуры *Arabidopsis thaliana* L. Heynh *in vitro*. А – изображение, подготовленное для анализа. Б – изображение, размеченное нейросетью.

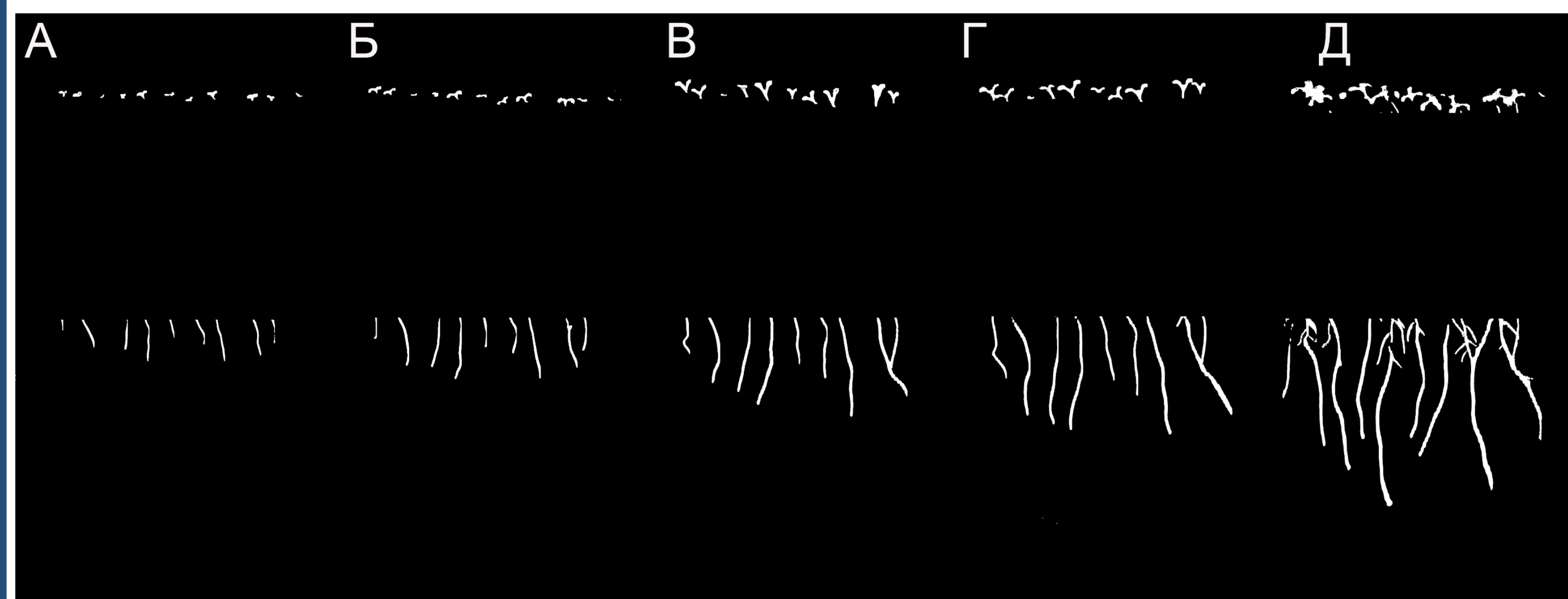


Рисунок 2. Результаты фенотипирования листьев и корней одной чашки Петри культуры *Arabidopsis thaliana* L. Heynh *in vitro*. А – фенотипированные изображения листьев и корней на 4 сутки, Б – 5 суток, В – 6 суток, Г – 7 суток, Д – 10 суток.

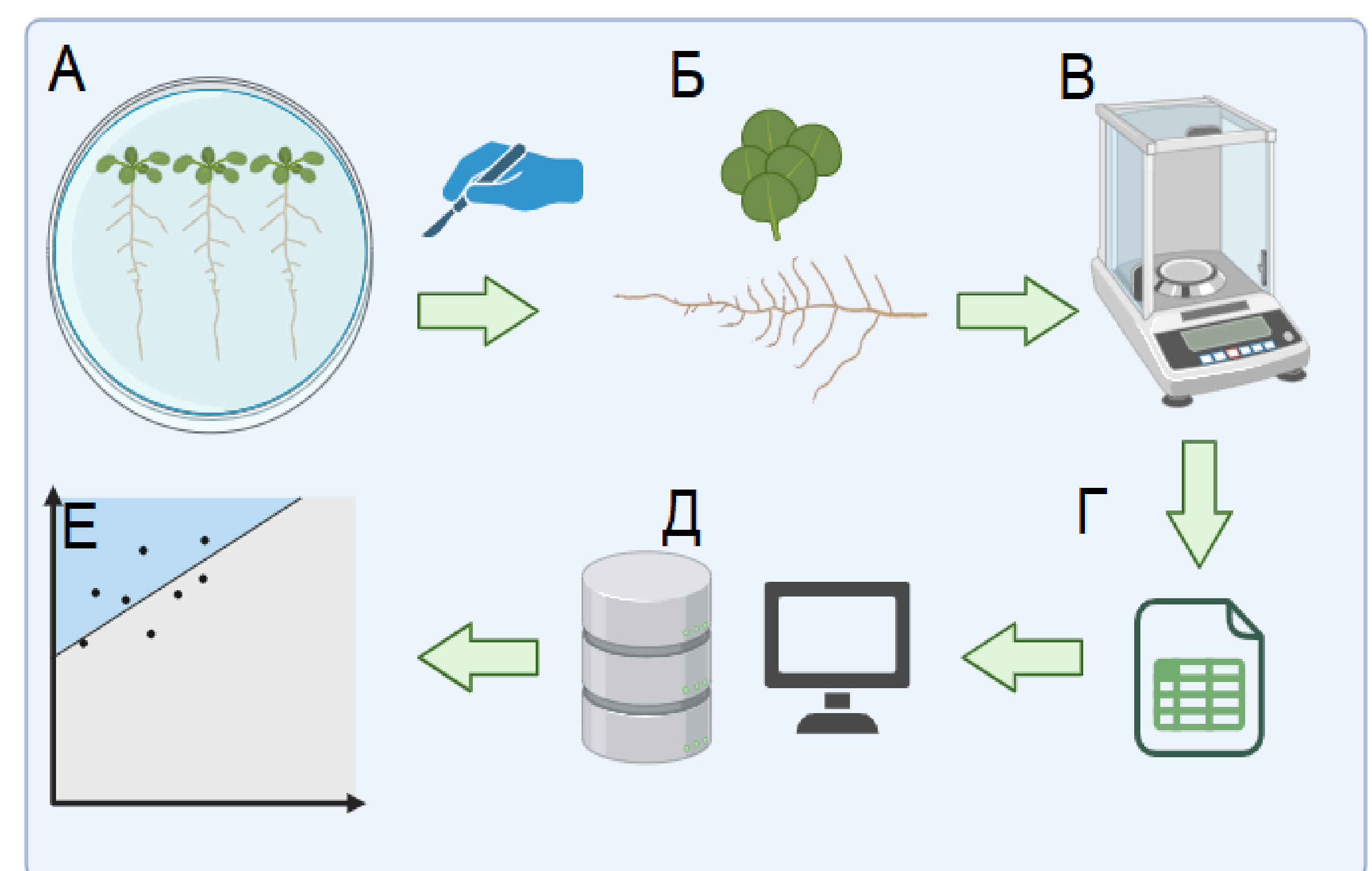


Рисунок 3. Процесс обучения модели нелинейной регрессии. После обработки фотографии основным алгоритмом, чашка Петри (А) вскрывается, растения извлекаются пинцетом, листья (Б) отделяются от корней скальпелем. Листья и корни затем взвешиваются (В) отдельно. Полученные экспериментальные данные масс записываются в файл Excel (Г). Файл загружается в компьютерную базу данных (Д), после чего данные из него используются для обучения модели (Е)

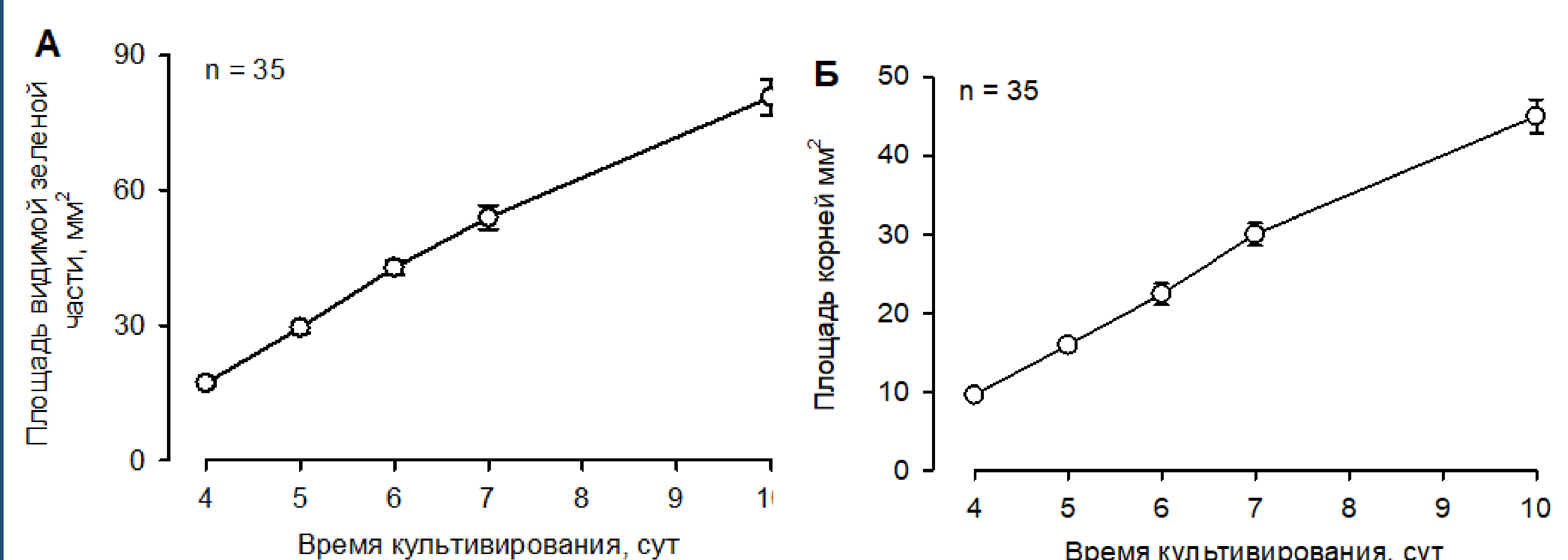


Рисунок 4. Изменение площади видимой зеленой части (А) и площади корней (Б) *Arabidopsis thaliana* L. Heynh. Данные являются средними ($\pm S\bar{x}$) для 35 измерений, каждое из которых представляет собой результат анализа морфологических параметров растений одной чашки (культура целых растений).