

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Цыгановой Анны Викторовны на тему:  
«Симбиотический интерфейс в развитии клубеньков Бобовых»,  
представленную на соискание ученой степени доктора биологических наук  
по научной специальности 1.5.21 Физиология и биохимия растений

Диссертационная работа Цыгановой А.В. посвящена важному и интересному вопросу — механизмам взаимодействия партнеров в симбиотической азотфиксирующей системе бобового растения. Данная тема изучается во многих аспектах, однако далеко не все еще выяснено в этой проблеме. Так, далеко не все понятно в функционировании так называемого симбиотического интерфейса — растительно-микробной поверхности взаимодействия, через который, в частности, происходит обмен метаболитами между симбиотическими партнерами. Именно формированию, структуре и функционированию симбиотического интерфейса и посвящена данная диссертация, поэтому актуальность ее темы не вызывает сомнений.

Цыгановой А.В. в диссертационной работе были получены новые важные результаты. С помощью иммуноцитохимического анализа впервые проведено полное изучение компонентов симбиотического интерфейса у Бобовых, формирующих клубеньки разных типов. Показано наличие видоспецифических особенностей формирования и модификации растительного апопласта в клубеньках, в частности наличие высокометилэтерифицированного гомогалактуронана и рамногалактуронана I в клеточных стенках и стенках инфекционных нитей у изученных видов Бобовых. В клубеньках недетерминированного типа показано наличие линейной галактановой боковой цепи рамногалактуронана I в стенках инфекционных нитей у *P. sativum*, *Galega orientalis* и *Vavilovia formosa*. Фукозилированный ксилоглюкан отсутствует в клеточных стенках клубеньков *P. sativum*, и присутствует в клеточных стенках неинфицированных клеток клубеньков *M. truncatula* и в клеточных стенках клубеньков *V. formosa*.

Изучены видовые особенности симбиотического интерфейса детерминированных клубеньков (на примере сои): присутствие галактановой боковой цепи рамногалактуронана I в клеточных стенках неинфицированных клеток и преимущественное накопление фукозилированного ксилоглюкана в стенках инфекционных нитей. Выявлены видоспецифичные маркеры созревания симбиосомных мембран в клубеньках *P. sativum* — арабиногалактановые белки с гликозилфосфатидилинозитоловым якорем. Обнаружены новые проявления защитных реакций на поздних стадиях формирования неэффективных клубеньков. Показано накопление материала клеточной стенки вокруг вакуоли у мутанта

*P. sativum* SGEFix—2 (Pssym33-3), характеризующегося спорадическим выходом бактерий из инфекционных капель. Впервые показано участие активных форм кислорода ( $H_2O_2$ ), глутатиона, фитогормонов (транс-зеатина рибозида и гибберелловой кислоты) и везикулярного транспорта в развитии симбиотического интерфейса в клубеньках *P. sativum* при эффективном и неэффективном симбиозе.

Таким образом, в диссертации А.В. Цыгановой убедительно показано значение модификации симбиотического интерфейса при развитии азотфиксирующего клубенька, который важен как для естественного онтогенеза инфицированных клеток, так и при активации защитных реакций при неэффективном взаимодействии. Создана модель функционирования инфекционной нити в недетерминированных клубеньках Бобовых. Все это подтверждает научную новизну работы.

Рассматриваемая диссертация имеет и несомненное практическое значение. Исследованные диссертантом механизмы развития защитного ответа при неэффективном симбиозе могут стать основой для создания высокоэффективных растительно-микробных взаимодействий, а предложенная модель функционирования инфекционной нити в зрелом клубеньке может быть использована для дальнейшего изучения бобово-ризобияльного симбиоза.

В работе Цыгановой А.В. были использованы самые современные методы исследований, полученные результаты достоверны, выводы обоснованы.

Диссертация написана хорошим литературным языком, иллюстрирована наглядными, качественными рисунками. Список цитируемой литературы включает самые современные литературные источники. Литературный обзор и обсуждение полученных результатов показывают хорошее знание диссертантом современного состояния исследований по теме диссертационной работы.

Результаты работы Цыгановой А.В. опубликованы в ведущих отечественных и международных научных изданиях и были доложены на представительных научных конференциях.

В то же время к рассматриваемой диссертации можно высказать несколько незначительных замечаний.

Отмеченное в разделе «Теоретическое и практическое значение» положение, что модель функционирования инфекционной нити в зрелом клубеньке может быть использована «для создания симбиотических ассоциаций у небобовых растений» (стр. 12) является все-таки очень дальней перспективой практического использования результатов данной работы.

Хотя в работе упомянут гемоглобин бобовых растений - леггемоглобин: «в клубеньках с помощью леггемоглобина поддерживается очень низкое парциальное давление кислорода» (стр. 54-55), в тексте нет никакого описания того, что это за белок и каким образом он участвует в регуляции кислородных условий в клубеньках.

Однако отмеченные недостатки носят технический характер и не снижают общей положительной оценки рассматриваемой диссертации.

С учетом всего вышесказанного полагаю, что:

Содержание диссертации Цыгановой Анны Викторовны на тему: «Симбиотический интерфейс в развитии клубеньков Бобовых» соответствует специальности 1.5.21 (Физиология и биохимия растений);

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение.

Нарушений пунктов 9, 11 Порядка присуждения Санкт-Петербургским государственным университетом ученой степени доктора наук соискателем ученой степени мною не установлено.

Таким образом, диссертация Цыгановой А.В. соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени доктора наук, установленным приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете» и рекомендована к защите в СПбГУ, а автор диссертации Цыганова Анна Викторовна достойна присуждения ей искомой ученой степени доктора биологических наук по научной специальности 1.5.21 «Физиология и биохимия растений».

Член диссертационного совета

Доктор биологических наук,

зав. лабораторией биохимии азотфиксации и метаболизма азота,

главный научный сотрудник Федерального государственного учреждения

«Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии»

Российской академии наук» (ФИЦ Биотехнологии РАН),



Топунов Алексей Федорович

19 ноября 2024 г.

Заверяю подпись Топунов

