

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Мурган Ольги Константиновны на тему «Сравнительное исследование физиологических механизмов защитного действия 24-эпибрассинолида и 24-эпикастастерона у растений картофеля при солевом стрессе», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.21 - физиология и биохимия растений.

В течение продолжительного времени считалось, что процессы роста и развития растений контролируют 5 групп гормонов: ауксины, цитокинины, гиббереллины, абсцизовая кислота и этилен. Кроме того, в науке долго существовала точка зрения, согласно которой растения отличаются от животных тем, что у них нет стероидных гормонов. Однако, зная важную роль стероидных гормонов в организме животных и человека, предполагали, что такие гормоны должны быть и у растений. И действительно, в 1970-х гг. класс терпеноидов пополнился новой, шестой группой гормонов – брассиностероидами. Брассиностероиды – это стрессовые адаптогены, обладающие сильной ростостимулирующей активностью. Они содержатся в каждой растительной клетке в очень малом количестве. Именно крайне низкое содержание брассиностероидов в растениях обусловило исключительную роль химического синтеза как единственного способа получения этих фитогормонов для научных и практических целей. Первым брассиностероидом, полученным синтетическим путем, был эпибрассинолид, абсолютно идентичный природному растительному гормону. Важно, что химические аналоги брассиностероидов оказались более перспективными в практическом отношении, чем их природные прототипы.

Подобно другим фитогормонам, брассиностероиды в исключительно малых концентрациях ( $10^{-12}$ - $10^{-7}$  М) обладают полифункциональным действием на растения и их ростостимулирующие и иммуномодулирующие эффекты, особенно в неблагоприятных условиях, детально описаны в многочисленных работах. Наиболее изученными и используемыми в качестве запатентованных препаратов с ростостимулирующими и иммуномодулирующими свойствами являются 24-эпибрассинолид и 28-гомобрассинолид. Тем не менее известно, что активность брассиностероидов определяется химической структурой. Поэтому для создания препаратов с новыми свойствами необходимо очень тщательное изучение разных групп брассиностероидов. Именно этой теме посвящено диссертационное исследование О.К. Мурган, в котором детально изучено влияние на растения лактон-содержащего и кетон-содержащего брассиностероидов в оптимальных условиях и при засолении. Работа отмечается высоким уровнем научной новизны и актуальности. Основные положения и выводы, сделанные автором, научно обоснованы и

достоверны, так как получены в ходе хорошо спланированных экспериментов с привлечением методов адекватных целям и задачам исследований, проанализированы с использованием соответствующих методов обработки данных, апробированы на различных научных конференциях и опубликованы.

Говоря о научной новизне диссертационной работы, следует сказать, что благодаря проведенному О.К. Мурган исследованию, впервые определено эндогенное содержание лактон- и кетон-содержащих brassinosteroidов в микроклонах растений картофеля. Присутствие лактон- и кетон-содержащих brassinosteroidов в сопоставимых количествах подтверждает актуальность исследования влияния экзогенных гормонов обеих групп на растения. Полученные результаты показали, насколько разнообразны эффекты экзогенного применения brassinosteroidов и что в зависимости от химической структуры, концентрации и длительности воздействия результаты могут быть прямо противоположными, что указывает на сложность взаимосвязей и необходимость дальнейшего, более тщательного изучения механизмов влияния brassinosteroidов с разной химической структурой на рост и устойчивость растений. В результате исследований О.К. Мурган удалось получить новые важные данные, которые дополняют уже известные сведения о физиологических и молекулярно-биологических механизмах влияния разных групп brassinosteroidов на рост, развитие и устойчивость растений к солевому стрессу. Эти данные имеют теоретическое значение и могут быть рекомендованы преподавателям вузов для использования при чтении спецкурсов по фитогормонам. Практическое значение работы, позволяющей глубже понять механизм физиологических эффектов разных групп brassinosteroidов, обусловлено тем, что обнаруженные у этих веществ антистрессовые и защитные свойства в сочетании с экологической безопасностью и благоприятной токсиколого-гигиенической характеристикой позволяют ожидать в будущем еще более широкого их применения с целью повышения устойчивости и продуктивности сельскохозяйственных культур.

Сама диссертация О.К. Мурган построена по традиционному принципу и состоит из «Введения», «Обзора литературы», глав «Материалы и методы», «Результаты», а также включает «Заключение», «Выводы» и «Список литературы». Тем не менее, целесообразно было бы главу «Результаты» назвать «Результаты и обсуждение» и добавить более полное обсуждение и интерпретацию полученных данных. Диссертация изложена на 157 страницах, содержит 50 рисунков и 37 таблиц. Список цитируемой литературы включает 101 работу, в том числе 84 на иностранном языке. В «Обзоре литературы» автор приводит описание засоления как экологического фактора, физиологического ответа растений на действие засоления и известную информацию о роли brassinosteroidов в формировании

защитных механизмов растений при солевом стрессе. В целом «Обзор литературы» содержателен, базируется преимущественно на современной литературе. Сожаление вызывает только недостаточно структурированный раздел о роли брассиностероидов в защитных механизмах растений. Кроме того, излишним кажется описание экологических аспектов возникновения засоленных территорий и классификации растений по устойчивости к засолению, так как эти вопросы напрямую не относятся к теме исследования». Некоторых процитированных статей нет в списке литературы (например, Efimova et al., 2019).

В главе «Материалы и методы» приводится краткая характеристика объекта исследования, схем постановки опытов и используемых методик анализа. К большому сожалению, полностью отсутствует информация о количестве растений в опытах, биологических и аналитических повторностях в измерениях и о повторности опытов. В связи с тем, что результаты опытов довольно часто указывали на разную направленность процессов в зависимости от тех или внутренних или внешних факторов, необходимо иметь представление о том, насколько воспроизводимы были эти результаты. При описании методики определения содержания воды следовало бы расшифровать обозначение RW. Перечень измеряемых параметров фотохимической активности ФСII довольно большой, однако желательно было бы оставить в списке только те параметры, результаты измерения которых представлены в работе. Неудачно использован термин «плотность потока квантов» вместо «плотность потока фотонов».

Глава «Результаты и обсуждение» содержит 3 раздела. Первый посвящен анализу эндогенного содержания разных групп брассиностероидов и их влияния при экзогенном применении на физиологические процессы растений картофеля в культуре *in vitro* и *in vivo* в оптимальных условиях окружающей среды. При анализе представленных в этом разделе результатов возникает ряд вопросов. Во-первых, многочисленными работами показано, что брассиностероиды обладают ростостимулирующей активностью. В связи с этим непонятно почему автор не провел серию опытов с целью определить концентрацию, в которой исследуемые гормоны при длительном воздействии демонстрировали бы стимулирующие эффекты. Во-вторых, обсуждаемые различия в оводненности тканей при длительном действии брассиностероидов в отсутствие стресса составляют 1-2%. Имеет ли это биологическую значимость при статистически значимых различиях? При представлении данных по параметрам фотохимической активности ФСII (таблица 7) некорректно использовать сравнение с контролем в процентах, так как показатели являются расчетными коэффициентами. При этом абсолютные значения для контрольного варианта не приведены в примечании к таблице. При этом в автореферате приведены

абсолютные значения измеряемых показателей, которые, по-видимому, свидетельствуют о технической ошибке в измерениях, так как значения показателя  $F_v/F_m$  превышают в некоторых случаях теоретически возможный максимум (0,84). Кроме того, следовало бы предположить, с чем связано одновременное увеличение значений  $F_v/F_m$  и NPQ. Как правило, эти показатели изменяются разнонаправленно. Желательно было бы предпринять попытку объяснить противоположный эффект длительного действия 10 нМ ЭБЛ и ЭПК на содержание ионов  $Na^+$  (увеличение на 39% и снижение на 42% (таблица 8). Воспроизводим ли эффект? Кроме того, в работе отсутствует обсуждение возможных причин столь разного влияния brassinosterоидов на хлорофиллы *a* и *b* и их соотношение. Сравнение эффектов длительного и кратковременного действия brassinosterоидов на физиологические процессы растений затруднено использованием в опытах разных концентраций гормонов (10 и 1000 нМ в первом случае и 0,1, 10 и 1000 нМ во втором). Не совсем удачным видится использование термина «длительное воздействие» применительно к 12-часовому воздействию в рамках опытов по кратковременному воздействию brassinosterоидов, так как при чтении предыдущего материала термин «длительное воздействие» использовался для периода 19 суток.

Второй раздел диссертации посвящен описанию физиологических ответных реакций растений картофеля на хлоридное засоление в динамике. С учетом того, что механизмы устойчивости растений к солевому стрессу довольно интенсивно изучаются и имеется обширная литература по этому вопросу, автору следовало бы более четко отразить новизну представленных данных. Рисунок 25 не соответствует подписи и является копией рисунка 33.

Третий раздел содержит основные результаты работы по влиянию разных групп brassinosterоидов на физиологические процессы растений при последующем засолении. Надо отметить, что в разделе представлен значительный объем данных, отражающий большую работу, сделанную диссертантом, результаты которой представляют несомненный научный интерес. Так, автором впервые охарактеризованы физиологические реакции растений картофеля в оптимальных условиях и при солевом стрессе в условиях *in vitro* и *in vivo* на обработку лактон- и кетонсодержащими brassinosterоидами в зависимости от концентрации и продолжительности действия. Показана органоспецифичность защитного действия brassinosterоидов при солевом стрессе.

В «Заключении» и «Выводах» О.К. Мурган подытоживает результаты своих исследований, имеющих несомненное теоретическое значение и в перспективе практическую значимость. При этом в заключении и выводах вызывает сомнение утверждение о том, что изученные brassinosterоиды в указанных концентрациях

повышают фотохимическую активность ФСП наряду с ингибированием ростовых процессов и развитием окислительного стресса, на что указывает ряд показателей. В выводах 2 и 5 следовало бы указать концентрации гормонов.

Диссертация полно иллюстрирована схемами, рисунками и таблицами. В целом она выверена и отредактирована, хотя имеются пунктуационные, грамматические ошибки и несогласования. К сожалению, отмечены и неудачные выражения, например: «фотосинтезирующие пигменты», «протекторное действие на сохранение сырой массы», «экзогенные brassinosteroids улучшают ..., ассимилируя больше молекул углекислого газа», «определение активных продуктов с ТБК», «количество листьев оценивали», «защита фотохимической активности». Следовало бы также избегать использования термина «деградация хлорофилла» при указании на снижение его содержания, так как в работе не изучали было ли снижение содержания обусловлено замедлением синтеза пигментов или ускорением их деградации. Сделанные замечания носят рекомендательный характер, а выявленные недостатки, в том числе оформительского характера, не мешают сделать ниже следующее положительное заключение.

Оценивая диссертационную работу О.К. Мурган в целом, следует сказать, что она носит законченный характер, содержание автореферата соответствует основным положениям и выводам диссертации, а основные ее результаты отражены в 8 опубликованных автором работах в рецензируемых изданиях.

Учитывая все изложенное выше, считаю, что диссертация О.К. Мурган полностью соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), а ее автор Ольга Константиновна Мурган безусловно заслуживает присуждения ей искомой научной степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.21. – физиология и биохимия растений.

Доктор биологических наук,  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории экологической физиологии  
растений Института биологии  
ФИЦ «Карельский научный центр РАН»

Шибеева Татьяна  
Геннадиевна

2.10.2023

185910 г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11  
+79214611116, e-mail: shibaeva@krc.karelia.ru

