

Сведения о выполненных работах и
полученных научных результатах в 2024 году

**по проекту «Стероидные фитогормоны и их новые производные –
природный нанобиотехнологический инструмент для высокопродуктивного
экологического земледелия»,**
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 23-44-10019

Руководитель: канд. биол. наук Ефимова Марина Васильевна

В 2024 г. исследования были посвящены изучению протекторного эффекта кетон- (28-гомобрасинолид, ГБЛ) и лактон- (28-гомокастастерон, ГКС) содержащих стероидных гормонов в зависимости от способа воздействия (концентрации гормона, продолжительность обработки и способа воздействия (до хлоридного засоления или совместно со стрессовым воздействием)) на растениях рапса (сорт Хантер) и ячменя (сорт Биом). Применяемые нами стероидные гормоны были синтезированы коллегами из Института биоорганической химии. Ответную реакцию растений на фоне или при последующем действии солевого стресса оценивали по ростовым (биомасса растений, линейные размеры корня) и физиологическим (уровень фотосинтетических пигментов, перекисное окисление липидов (ПОЛ), осмотический потенциал клеточного экссудата, содержание пролина и активность антиоксидантных ферментов, оводнённость тканей, накопление ионов) показателям. Был определён уровень экспрессии трёх групп генов, кодирующих антиоксидантные ферменты, дегидрины и ферменты метаболизма пролина. На основе полученных данных, проведено сравнение устойчивости однодольных и двудольных растений, на примере растений рапса и ячменя; оценен вклад брасиностероидов в регулировании молекулярных и физиологических защитных процессов на фоне хлоридного засоления.

Синтезированы производные брасиностероидов с дополнительной функциональной группировкой для связывания с белками и получены специфические антисыворотки. Данные соединения были использованы для оценки эндогенного содержания стероидных гормонов группы брасинолида (24S-метил-БС), 24-эпибрасинолида (24-эпи- БС), 28-гомобрасинолида (28-гомо-БС), В-лактонов (В-лактонБС) и Вкетонов (6-кетоБС) методом двухстадийного иммуноферментного анализа. Показано, что эндогенный уровень БС групп 24-эпи- 24S-метил- и 28-гомо-БС зависит от интенсивности стрессового воздействия. Вклад БС в формирование устойчивости растений в ответ на действие хлорида натрия был продемонстрирован на примере восстановления ростовых показателей мутантной линии *Arabidopsis*, по гену синтеза БС – *det2*, длительным воздействием БС на фоне хлоридного засоления.

На основании проведенных исследований можно предположить о специфичности защитного действия брасиностероидов для разных культур растений. Например, длительное воздействие лактосодержащим брасиностероидом (ГБЛ) на фоне хлоридного засоления эффективно для сохранения массы растений ячменя и поддержания длины корня. Независимо от длительности обработки, применение 0,1 нМ ГБЛ способствовало снижению осмотического потенциала по сравнению с

контрольным значением, и относительно стрессового воздействия. Для снижения окислительного стресса в растениях ячменя, подвергнутых хлоридному засолению, применение ГБЛ было также, эффективнее ГКС, но только при кратковременном воздействии (4 часа). На фоне действия хлоридного засоления и БС отмечено повышение содержания пролина, однако при действии 0,1 нМ ГБЛ вне зависимости от длительности воздействия (2 недели/4 и 24 часа) накопление пролина было ниже. Экзогенные БС повышали активность супероксиддисмутазы (СОД) – наибольшая активность фермента показана при совместном действии засоления и БС: ГБЛ (0,1 нМ и 10 нМ) повышал активность СОД на 79 и 94 % соответственно, а ГКС вне зависимости от используемой концентрации на 70 %. Применение 10 нМ ГБЛ при хлоридном засолении оказывало наибольший эффект на уровень экспрессии генов, кодирующие антиоксидантные ферменты и гены дегидринов.

Для растений рапса наиболее эффективным было применение кетон-содержащих БС. Максимальный ростостимулирующий эффект отмечен при 10 нМ ГКС (2 недели) в отсутствии стрессового фактора в среде и 0.1 нМ ГКС (4 часа) при последующем хлоридном засолении. Одновременное воздействие 10 нМ ГКС и стрессора дополнительно снижало осмотический потенциал на 17% относительно действия одного стрессора, что свидетельствует о способности растений более эффективно усваивать воду. При данном воздействии также показано, что ГКС стимулирует накопление транскриптов генов, кодирующих дегидрины. Дополнительно отмечено, что длительное воздействие 0,1 нМ ГКС снижало степень перекисного окисления липидов. Для активации накопления компонентов антиоксидантной неферментативной защитной системы более эффективно применение лактонсодержащих БС. Так 24-часовая предобработка растений 0,1 нМ ГБЛ, на фоне хлоридного засоления увеличивала накопление пролина на 70% относительно воздействия соли. Для ферментативных систем защиты растений рапса на фоне засоления наиболее эффективно применение ГКС (4 часа), которое увеличивало активность СОД в 8 раз относительно контроля. Обработка растений brassinosterоидами дополнительно снижала активность пероксидазы, вызванной избыточной концентрацией соли, вне зависимости от их концентрации, химической структуры и длительности воздействия.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для повышения толерантности к засолению растений ячменя наиболее эффективно применение лактонсодержащих brassinosterоидов, тогда как для растений рапса – кетонсодержащих. Это доказывает усиление роста, снижение величины осмотического потенциала, уменьшение степени окислительного стресса и увеличение ферментативной активности на фоне хлоридного засоления при действии ГКС и ГБЛ для растений рапса и ячменя соответственно. Стоит отметить, что не для всех перечисленных параметрах наиболее эффективно длительное применение brassinosterоидов. Так, для сохранения роста растений рапса и снижения уровня перекисного окисления липидов наиболее эффективна была 4-часовая предобработка ГБЛ, а на достоверное снижение осмотического потенциала в растениях ячменя при стрессе длительность применения 0,1 нМ ГБЛ не влияла. Тем не менее, полученные результаты могут быть полезны для создания селективных агропрепаратов на основе кетонсодержащих БС, позволяющих сохранить урожайность двудольных сельскохозяйственно-значимых культур, не оказывая положительного воздействия на однодольные сорные травы в условиях рискованного земледелия.