

Участие гена *SaCAX* в устойчивости растений *Sinapis alba* L. к раздельному и одновременному действию избытка цинка и низкой температуры

Н.М. Казнина*, Н.С. Репкина

Институт биологии – обособленное подразделение ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук»,
Петрозаводск, Россия

* kaznina@krc.karelia.ru

Цель: изучить экспрессию гена $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^{+}$ -обменника (*SaCAX*) в листьях горчицы белой при избытке цинка в среде роста, кратковременном понижении температуры или одновременном действии этих стрессоров.

Материалы и методы: Семена горчицы белой (*Brassica alba* L.) сорта Радуга проращивали на дистиллированной воде. После чего проростки переносили в сосуды с питательным раствором Хогланда-Арнона, содержащим 5 (оптимум) или 1000 мкМ (избыток) цинка. Растения выращивали под светоустановкой при температуре 22 °C, относительной влажности воздуха 60–70%, ФАР 200 мкмоль/(м²·с), 14-часовом фотопериоде. Спустя 7 суток (исходный уровень) часть растений обоих вариантов опыта оставляли при температуре 22 °C (варианты Zn5 + 22 °C и Zn1000 + 22 °C), а другую – переносили в холодовую камеру с температурой 4 °C (варианты Zn5 + 4 °C и Zn1000 + 4 °C). В исходной точке и по истечении 3 и 7 сут в листьях растений измеряли количество транскриптов гена *SaCAX* методом РТ-ПЦР. Об устойчивости растений к раздельному или совместному действию стресс-факторов судили по показателям роста побега (высота побега, его сухая биомасса).

Результаты: Обнаружено, что в оптимальных условиях роста (Zn5 + 22 °C) количество транскриптов гена *SaCAX* было практически неизменным на протяжении всего опыта. При избытке цинка (исходный уровень) количество матриц этого гена оказалось в 3 раза выше, чем при его оптимальном содержании, однако в дальнейшем при 22 °C (Zn1000 + 22 °C) оно постепенно снижалось. При действии низкой температуры в течение 3 сут количество транскриптов гена *SaCAX* в варианте опыта Zn5 + 4 °C возрастало (в 2.8 раза по сравнению с исходным уровнем), но к 7-м суткам уменьшалось до исходного значения. В варианте с одновременным действием стресс-факторов (Zn1000+4 °C) количество транскриптов этого гена сохранялось высоким на протяжении всего опыта.

Выявлено также, что все изученные типы воздействия отрицательно сказались на росте растений. В частности, у них уменьшалась (по сравнению с оптимальными условиями роста) высота побега и его сухая биомасса. Однако в вариантах с раздельным действием цинка и низкой температуры к завершению опыта растения возобновили рост, тогда как в варианте с их одновременным воздействием рост полностью останавливался.

Выводы: Таким образом, при раздельном действии избытка цинка или низкой температуры у горчицы белой в листьях усиливается экспрессия гена *SaCAX*, что направлено на снижение содержания кальция в цитозоле клетки. При дальнейшем росте растений в этих условиях уровень экспрессии гена постепенно снижается, свидетельствуя о восстановлении концентрации этого элемента и, как следствие, уменьшении стрессовой нагрузки. При этом возобновляется рост растений. При одновременном действии стресс-факторов количество транскриптов гена остается высоким на протяжении всего опыта, что, вероятно, связано с сохранением высокого уровня кальция в цитозоле. В этом случае наблюдаемая в опыте остановка роста растений может быть связана с развитием окислительного стресса, вызванного избыточным количеством ионов кальция. Полученные данные позволяют предполагать участие гена *SaCAX* в устойчивости растений горчицы белой не только к избытку цинка, но и к низкой температуре, а также к одновременному воздействию изученных стресс-факторов.

Финансирование: Исследование поддержано финансированием на ГЗ ИБ КарНЦ РАН № FMEN-2022-0004.