

0,25, 0,5, 0,75, 1, 24 ч. Активность пероксидазы (АП) определяли по методу Бояркина по скорости окисления бензидина.

После 0,25ч-воздействия гипотермии выявлен достоверный рост активности данного антиоксидантного фермента только у проростков огурца (в 4,8 раза). При увеличении времени гипотермического воздействия до 0,5ч наблюдалось достоверное увеличение АП у огурца и тыквы в 1,4 и 1,3 раза, соответственно; АП у проростков кабачка достоверно не изменялась по сравнению с контролем. Однако, после 0,75ч-гипотермического воздействия пероксидазная активность у проростков тыквы достоверно уменьшалась в 5,6 раза, а у проростков огурца – достоверно увеличивалась в 4,7 раза, активность фермента у проростков кабачка достоверно не изменялась по сравнению с контролем. АП после 1ч-гипотермии достоверно возрастала у тыквы и огурца в 3,4 и 10,5 раз, соответственно; активность фермента у кабачка достоверно не отличалась от контрольной величины АП после 24ч-гипотермии достоверно уменьшалась у проростков тыквы в 5,2 раза, у проростков кабачка – в 2,0 раза, а у проростков огурца – достоверно увеличивалась по сравнению с контролем в 2,0 раза.

Таким образом, можно заключить, что из исследованных тыквенных культур наибольшей устойчивостью к действию низких положительных температур обладает огурец, а наименьшей кабачок, тыква занимает промежуточное положение.

Функционирование устьичного аппарата *Pisum arvense* при обработке растений наночастицами оксида меди

Яцзин Ш.^А, Пшибытко Н. Л.^{А*}, Демидчик В. В.^А

^А Белорусский государственный университет, кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений, Минск, Беларусь. *E-mail: Pshybytko@bsu.by

Применение нанотехнологий в сельском хозяйстве увеличивается с каждым годом. Традиционные крупнотоннажные удобрения уступают место наноудобрениям из-за высокой стоимости и возможного вредного воздействия на окружающую среду. Это способствует поиску экологически чистых удобрений или «умных» удобрений с высокой эффективностью. Особое внимание уделяется наночастицам оксидов металлов, особенно CuO. Медь широко распространена в тканях растений, является важным микроэлементом для роста и участвует во многих физиологических процессах. Вопрос о возможных способах проникновения наночастиц в растительный организм, а также механизмах их дальнейшего перемещения по тканям и клеткам растений является на сегодняшний день наиболее спорным. Основным способом проникновения наночастиц через листья

рассматривают устьица. Поэтому аппертура устьиц, а также их способность открываться и закрываться определяет реакцию растений на обработку наночастицами, а также способность растительных организмов адаптироваться к изменяющимся условиям среды, адаптировать водный обмен и фотосинтетическую активность.

Целью данной работы являлось исследование влияния наночастиц оксида меди на функционирование устьичного аппарата *Pisum arvense* L. Состояние устьичного аппарата анализировалось через 1-24 ч после обработки (путем опрыскивания) наночастицами CuO (0,1; 1; 10; 100; 1000 мг/мл) сферической формы размером 40-50 нм с использованием инвертированного микроскопа Nikon Diaphot TMD (x400) при слабом освещении (~ 40 $\mu\text{моль квантов м}^{-2} \text{с}^{-1}$). Для максимального открытия устьиц использовалось освещение ($\sim 1\,000$ $\mu\text{моль квантов м}^{-2} \text{с}^{-1}$) от источника однородного холодного света Zeiss KL 1500 LCD (цветовая температура освещения 2900 K) в течение 20 минут. Показано, что ширина устьичной щели растений гороха полевого при слабом освещении увеличивалась на $56,7 \pm 5,4\%$ через час после обработки раствором наночастиц CuO, а затем постепенно уменьшалась. Повышение концентрации наночастиц CuO усиливало ингибирующий эффект обработки. Скорость светового открытия устьиц в контрольных растениях гороха полевого составляла $14,5 \pm 0,7$ устьиц/мин. Через час после обработки растений суспензией наночастиц оксида меди (0,1 мг/мл) данный показатель снижался на $20,1 \pm 3,8\%$. Ингибирующий эффект наночастиц сохранялся в течение суток. Обработка высокими концентрациями наночастицами CuO (1000 мг/мл) оказывала более выраженный и более длительный эффект. В этом случае уже через час после обработки растений наночастицами скорость светового открытия устьиц составляла $6,3 \pm 0,4$ устьиц/мин, что составляло $43,4 \pm 4,1\%$ от уровня контрольного варианта.

На основании полученных данных можно заключить, что наночастицы CuO оказывают негативное влияние на работу устьичного аппарата гороха полевого, снижая аппертуру устьиц и замедляя их световое открытие, тем самым нарушая нормальный процесс транспирации и газообмена.

Работа выполнена в рамках задания 2.04.5 «Установление закономерностей токсического воздействия металлосодержащих нанополлютантов атмосферы на физиологические процессы у высших растений» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021-2025 годы (№ ГР 20211705)