

Список литературы

- 1 Мотина Т.Ю., Дегтярева И.А., Давлетшина А.Я., Яппаров И.А., Алиев Ш.А., Бабынин Э.В. Биоудобрения комплексного действия на основе консорциума микроорганизмов и наноструктурных агроминералов для получения экологически безопасной продукции растениеводства // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. № 12. С. 122–126.
- 2 Самарина Л.С., Маляровская В.И., Рогожина Е.В., Малюкова Л.С. Эндوفитные микроорганизмы как промоутеры роста растений в культуре *in vitro* // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 5. С. 917–927.
- 3 Демаков В.А., Максимов А.Ю., Кузнецова М.В., Овечкина Г.В., Ремезовская Н.Б., Максимова Ю.Г. Биологическое разнообразие нитрилметаболизирующих бактерий антропогенно-измененных почв Пермского края // Экология. 2007. № 3. С. 185–190.
- 4 Максимов А.Ю., Максимова Ю.Г., Шилова А.В., Щетко В.А. Культуры микроорганизмов – продуцентов гидролитических ферментов, перспективные для переработки отходов сельского хозяйства и пищевой промышленности // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. 2021. Т. 13. С. 348–359.
- 5 Максимов А.Ю., Быкова Я.Е., Пьянкова Е.В., Щетко В.А., Максимова Ю.Г. Препараты гидролитических ферментов из галоалкалотолерантных бактерий для целей сельского хозяйства // Актуальная биотехнология. 2022. № 1. С. 99–101.
- 6 Максимова Ю.Г., Щетко В.А., Максимов А.Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 1. С. 23–42.

DOI 10.18699/GPB2024-32

Сложные эфиры орто-фталевой кислоты как инструмент защиты растений от фитопатогенов при прорастании семян

Еникеев А.Г.*, к.б.н., в.н.с.; Кустов В.А., вед. технолог; Пермяков А.В. к.б.н., с.н.с.; Семёнов А.А. д.х.н., вед. технолог.

ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

*email: enikeev@sifibr.irk.ru

Сложные эфиры орто-фталевой кислоты – новая группа вторичных метаболитов растений. Функции фталатов в растениях неизвестны. При прорастании семян пшеницы выявлено значительное увеличение содержания этих соединений. Обсуждается роль фталатов в защите растений от фитопатогенов на этапе прорастания семян.

Ключевые слова: яровая пшеница, прорастание семян, защита от фитопатогенов, орто-фталаты.

Esters of ortho-phthalic acid as a tool for protecting plants from phytopathogens during seed germination

Enikeev A.G. *, Kustov V.A., Permyakov A.V., Semenov A.A.

Ortho-phthalic acid esters are a new group of secondary plant metabolites. The functions of phthalates in plants are unknown. During germination of wheat seeds, a significant increase in the content of these compounds was observed. The role of phthalates in protecting plants from phytopathogens at the stage of seed germination is discussed.

Key words: spring wheat, seed germination, protection against phytopathogens, ortho-phthalates.

Аллелопатия – один из важнейших механизмов обеспечивающих взаимодействие растений с окружающей средой [1]. К числу соединений, обладающих аллелопатической активностью, относятся сложные эфиры *орто*-фталевой кислоты (фталаты), часто обнаруживаемые в составе эфирных масел [2, 3]. Долгое время эти соединения рассматривались только как промышленные поллютанты, однако в настоящее время их природное происхождение подтверждено большим числом исследований [4–6]. Физиологические функции фталатов в растениях неизвестны. Фталаты обладают широким спектром биологической активности в том числе антибактериальными, фунгицидными и противовирусными свойствами, что дает основание считать одной из их функций защиту от фитопатогенов. При выходе из состояния покоя и прорастании семян происходит активация многих систем метаболизма, и том числе механизмов защиты. Большую роль в защите растений от фитопатогенов играют фенольные соединения [7], к числу которых относятся фталаты. Цель работы – оценить изменения содержания фталатов в семенах яровой пшеницы в процессе прорастания.

Материалы и методы. Объект исследований – семена яровой пшеницы *Triticum aestivum* L., сорт Ирень. Семена проращивали в стеклянных колбах в стерильных условиях (стерилизация 3 % перекисью водорода) на дистиллированной воде в темноте, при 26 °С. Фазы прорастания семян определяли по И.Г. Строна [8]. В указанное в схеме опыта время проростки (семена) пшеницы замораживали, а затем высушивали лиофильно. Полученный материал измельчали и трижды экстрагировали легкой фракцией петролейного эфира. Для удаления веществ, мешающих анализу, объединенные экстракты в течение 3 часов обрабатывали окислителем, равным по массе анализируемому образцу, на магнитной мешалке. Объединённый фильтрат упаривали досуха на ротаторном испарителе и растворяли в точно измеренном растворе динонилфталата в ацетонитриле (внутренний стандарт). Анализ образцов проводили методом ВЭЖХ на хро-

матографе Shimadzu LC 10AT (Япония), колонка Милихром C18 2x75 (Новосибирск, Россия). Элюент 100 % ацетонитрил (Криохром, Россия). Стандарты фталатов для хроматографии (Хром Лаб, Россия). Количество фталевых эфиров определяли сравнением площадей хроматографических пиков с площадью пика внутреннего стандарта.

Окислитель. 10 г окиси алюминия для хроматографии вносили в 100 мл 1% раствора перманганата калия в ацетоне и перемешивали на магнитной мешалке при комнатной температуре до полного исчезновения окраски. Отфильтровывали, промывали ацетоном.

Результаты и обсуждение. Во всех исследуемых образцах присутствуют дибутилфталат (ДБФ) и диэтилгексилфталат (ДЭГФ), что совпадает с ранее полученными данными [9]. Содержание фталатов в проростках пшеницы на разных стадиях прорастания представлены в таблице. Характер изменений содержания ДБФ и ДЭГФ в процессе прорастания семян пшеницы различен. Содержание ДБФ в исходных (сухих) семенах составило около 4 мкг/г сухого веса. В фазе водопоглощения, содержание этого соединения возрастало в 2-3 раза, оставаясь на этом уровне до фазы становления проростка, после чего возвращалось к исходному уровню. Содержание ДЭГФ в сухих семенах не превышало 2-3 мкг/г. На последующих стадиях, начиная с фазы набухания (2 сут), содержание ДЭГФ значительно увеличилось, достигая максимума в фазе становления проростка (5 сут). Содержание ДЭГФ при этом превышало исходное значение более чем в 20 раз. В дальнейшем, содержание ДЭГФ снижалось, стабилизируясь к 7 суткам на уровне $\frac{1}{4}$ от максимума.

Содержание диалкиловых фталатов в семенах и проростках пшеницы (мкг/г сухого веса). N=3

Фазы прорастания (сутки)	ДБФ	ДЭГФ
Исходные семена (0)	4±1	2±1
Водопоглащение (1)	13±1	4±1
Набухание (2)	9±1	14±1
Рост первичных корешков (3)	9±2	29±1
Развитие ростка (4)	13±3	38±1
Становление проростка (5)	8±1	63±2
6 суток	8±2	37±2
7 суток	4±2	17±1
9 суток	5±1	17±1

Полученные результаты дают основание считать одной из функций орто-фталатов в растениях участие в механизмах врожденного иммунитета, действующих на начальных этапах прорастания семян. Основная роль в формировании

устойчивости, обусловленной этими соединениями, принадлежит ДЭГФ. Физиологические функции ДБФ, вероятно, не связано с защитой от фитопатогенов, или его действие носит вспомогательный характер

Благодарности: Авторы выражают благодарность А.В. Поморцеву за предоставленные семена пшеницы.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках базового бюджетного финансирования проект: «Изучение молекулярных механизмов регуляции физиологических процессов и аллелопатии в растительно-микробных взаимоотношениях» (№ гос. регистрации – 121031300011-7).

Список литературы

- 1 Поляк Ю. М., Сухаревич В. И. Аллелопатические взаимоотношения растений и микроорганизмов в почвенных экосистемах // Успехи современной биологии. 2019. Т.139, №2. С.147-160. doi:10.1134/50042132419020066
- 2 Курашов Е.А., Крылова Ю.В., Митрукова Г.Г., Чернова А.М. Летучие низкомолекулярные метаболиты водных макрофитов произрастающих на территории России и их роль в гидроэкосистемах // Сибирский экологический журнал. 2014. №4. С.573-591.
- 3 Qiming X., Haidong C., Huixian Z., Daqiang Y. Allelopathic activity of volatile substance from submerged macrophytes on *Microcystin aeruginosa* // Acta Ecol. Sinica. 2006. Vol. 26, N11. P.3549-3554.
- 4 Zhang H., Hua Y., Chen J., Li X., Bai X., Wang H. Organism-derived phthalate derivatives as bioactive natural products // Journal of Environmental Science and Health, Part C. 2018. Vol.36. P.125-144. <https://doi.org/10.1080/10590501.2018.1490512>
- 5 Roy R.N. Bioactive natural derivatives of phthalate ester // Critical Reviews in Biotechnology. 2020. Vol.40. P.913-929. doi:10.1080/07388551.2020.1789838
- 6 Semenov A.A., Enikeev A.G., Babenko T.A., Shafikova T.N., Gorshkov A.G. Phthalates – a strange delusion of ecologists // Theoretical and Applied Ecology. 2021. N1. P.16. doi:10.257550/1995-4301-2021-1-016-021
- 7 Прусакова Л.Д., Кефели В.И., Белопухов С.Л., Вакуленко В.В., Кузнецова С.А. Роль фенольных соединений в растениях // Агрохимия. 2008. №7. С.86-96.
- 8 Строна, И.Г. Общее семеноведение полевых культур. М.: Колос, 1966. 464 с.
- 9 Enikeev A.G., Semenov A.A., Permyakov A.V., Sokolova N.A., Gamburg K.Z., Dudareva L.V. Biosynthesis of *ortho*-phthalic acid esters in plant and cell cultures // Appl. Biochem. Microbiol. 2019. V.55, N3. P.294-297. doi:10.1134/S0003683819020066