

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНОГО ОТВЕТА РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ К ГРИБУ *DRECHSLERA SOROKINIANA* ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ САЛИЦИЛОВОЙ И ЖАСМОНОВОЙ КИСЛОТ

Л.Г. Яруллина^{1,2}, Р.Ф. Исаев³, Л.М. Яруллина², О.В. Цветков²

¹Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия, yarullina@bk.ru

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный университет», Уфа, Россия, zv347@yandex.ru

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Башкирский государственный аграрный университет», Уфа, Россия, elmira.nailevna.karimova@mail.ru

Аннотация. Изучали воздействие предпосевной обработки семян салициловой (СК) и жасмоновой (ЖК) кислотами на устойчивость листьев пшеницы к инфицированию *Drechslera sorokiniana*. Обработка СК и ЖК способствовала снижению степени пораженности листьев патогеном. Повышение устойчивости пшеницы к *D. sorokiniana* под влиянием сигнальных молекул было обусловлено накоплением пероксида водорода и активацией оксалаксоксидазы (ОхО). ЖК оказывала более интенсивное индуцирующее действие на активность ОхО и на содержание H₂O₂ по сравнению с СК.

Ключевые слова: пшеница, корневая гниль, салициловая кислота, жасмоновая кислота, индуцированная устойчивость

DOI: 10.31255/978-5-94797-319-8-847-849

В большинстве регионов России корневую гниль вызывают в основном грибы из родов *Fusarium* и *Drechslera* (вид *Bipolaris sorokiniana*) [Чулкина, 1985]. Гриб *D. sorokiniana* является типичным некротрофом, паразитирует на подземных и надземных органах растений, однако, он способен поражать листья и семена. Патогенные свойства гриба обусловлены способностью секретировать гидролитические ферменты и токсины [Арога et al., 2002]. Поражение растений возбудителями корневых гнилей негативно отражается на количественных и качественных характеристиках урожая сельскохозяйственных культур.

Развитие устойчивости растений к возбудителя грибных болезней осуществляется в результате включения многих неспецифических защитных реакций, таких как генерация АФК, синтез защитных белков [Креславский и др., 2012]. Одна из форм АФК, перекись водорода, опосредует лигнификацию клеточной стенки, является сигнальной молекулой в запуске каскада защитных реакций растений, а в высокой концентрации может подавлять рост патогенов [Makandar et al., 2010]. Салициловая кислота и жасмоновая кислота являются сигнальными молекулами, механизм защитного действия которых связан с индукцией генерации активных форм кислорода в растительных тканях [Яруллина и др., 2016]. Эти вещества сами, не обладая антимикробной активностью, стимулируют защитные реакции клеток растений посредством активации синтеза ряда связанных с патогенезом белков. Учитывая широкую распространенность и высокую пластичность гриба *D. sorokiniana* весьма важное теоретическое и практическое значение имеют исследования защитной роли СК и ЖК к такому своеобразному патогену.

Исследования проводили на растениях пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Башкирская 24. Семена пшеницы перед посевом стерилизовали, часть из них обрабатывали салициловой и жасмоновой кислотами в концентрации 10^{-5} М и 10^{-7} М соответственно [Шакирова, 2001]. Суспензию конидий *D. sorokiniana* наносили на отрезки листьев 7-суточных растений, помещенные во влажную камеру. Степень поражения определяли по площади пораженных участков листьев через 4 сут после инокуляции [Дементьева, 1985].

Для выделения оксалаксоксидазы листья пшеницы растирали в 0,1 М сукцинатном буфере pH 3,8 (1:3). Гомогенат центрифугировали (3000 об/мин, 20 мин), в супернатанте оценивали активность оксалаксоксидазы спектрофотометрическим микрометодом [Vuletić, Šukalovich, 2000]. Для определения содержания H_2O_2 использовали краситель ксиленоловый оранжевый [Bindschedler et al., 2001].

Анализ развития возбудителя корневой гнили *D. sorokiniana* на листьях пшеницы показал, что в контроле площадь пораженных участков листьев составляла $23,8 \pm 1,7$ мм². У растений, предобработанных СК и ЖК, – $19,1 \pm 1,4$ мм² и $16,3 \pm 1,2$ мм² соответственно. Таким образом, предобработка растений пшеницы исследуемыми индукторами устойчивости снижала развитие на листьях гриба *D. sorokiniana* в среднем на 25%.

Биохимический анализ выявил, что предобработка растений СК повышала уровень H_2O_2 в листьях в среднем на 25% относительно контроля, предобработка ЖК – в среднем на 35% (таблица). Инфицирование листьев *D. sorokiniana* вызывало повышение в них уровня H_2O_2 , что обычно происходит при воздействии патогенов на растения. При этом в листьях предобработанных ЖК растений, уровень накопления H_2O_2 был выше, чем в варианте с обработкой СК.

Таблица.

Содержание H_2O_2 в листьях пшеницы сорта Жница при обработке СК и ЖК и заражении *D. sorokiniana*, мкМ/г сырого веса

Вариант	Время после инокуляции, ч		
	24	48	72
контроль	6.3 ± 0.02	7.6 ± 0.03	6.9 ± 0.04
инфицирование	10.7 ± 0.91	9.8 ± 0.98	8.1 ± 0.84
СК	8,4 ± 0.03	10,1 ± 0.05	8,4 ± 0.02
СК + инфицирование	13,1 ± 0.98	15,4 ± 0.96	13,8 ± 0.92
ЖК	7.9 ± 0.02	10.7 ± 0.84	8,7 ± 0.89
ЖК + инфицирование	14.6 ± 0.86	18.1 ± 0.93	14.6 ± 0.97

Изменение уровня H_2O_2 в растительных тканях происходит в результате многих метаболических процессов, в том числе и под влиянием ферментов про-/антиоксидантной системы. Наибольший вклад в накопление активных форм кислорода связан с активацией различных форм оксидаз, среди которых локализованная в клеточной стенке и плазмалемме – оксалаксоксидаза [Caliskan, Cuming, 1998].

Результаты нашего исследования показали, что предобработка растений ЖК повышала активность оксалаксоксидазы в среднем в 2-3 раза, предобработка СК – в 1,5-2 раза. Причем, в варианте опыта с использованием ЖК индукция активности фермента была ярко выражена уже через 24 ч от начала опыта и сохранялась на протяжении 48 ч.

Инфицирование листьев индуцировало активность оксалаксоксидазы, что является характерной ответной реакцией растений. Причем, наибольшая активность фермента наблюдалась в ранние сроки опыта (24 ч после инокуляции). Интересно, что при инфицировании ЖК также оказывала более значительный стимулирующий эффект на активность оксалаксоксидазы по сравнению с СК.

Таким образом, в ответ на инфицирование листьев пшеницы грибом *D. sorokiniana* происходит активация оксалаксоксидазы и накопление H_2O_2 в растительных

тканях. СК и ЖК регулируют эти процессы, поэтому предобработка растений исследуемыми соединениями повышает устойчивость пшеницы к патогену. Причем, использование ЖК является более эффективным методом формирования защитного ответа в растениях пшеницы к некротрофному патогену *D. sorokiniana* по сравнению с СК. Это обусловлено тем, что под влиянием ЖК происходит интенсивная активация оксалатаксидазы. Повышение активности ОхО приводит к быстрому накоплению H₂O₂, модификации клеточной стенки посредством лигнификации, запуску каскада защитных реакций растений, что приводит к подавлению роста и развития патогена.

Литература

- Дементьева М.И. Фитопатология. – М.: Агропромиздат, 1985. – 397 с.
- Креславский В.Д., Лось Д.А., Аллахвердиев С.И., Кузнецов Вл. В. Сигнальная роль активных форм кислорода при стрессе у растений // Физиология растений. – 2012. – Т. 59, № 2. – С. 163–178.
- Чулкина В.А. Корневые гнили хлебных злаков. – Новосибирск: Наука, 1985. – 189 с.
- Шакирова Ф.М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам ее регуляция. – Уфа: Гилем, 2001. – 160 с.
- Яруллина Л.Г., Касимова Р.И., Максимов И.В. Сигнальные молекулы в регуляции защитного ответа растений пшеницы на инфицирование *Septoria nodorum* // Прикладная биохимия и микробиология. – 2016. – Т. 5, № 5. – С. 531–537.
- Apoga D., Akesson H., Jansson H.-B., Odham G. Relationship between production of the phytotoxin prehelminthosporol and virulence in isolates of the plant pathogenic fungus *Bipolaris sorokiniana* // Eur. J. Plant Pathol. – 2002. – V. 108. – P. 519–526.
- Bindschedler L.V., Minibayeva F., Gardner S.L., Gerrish C., Davies D.R., Bolwell G.P. Early signalling events in the apoplastic oxidative burst in suspension cultured French bean cells involve cAMP and Ca²⁺ // New Phytologist. – 2001. – V. 151. – P. 185–194.
- Caliskan M., Cuming A. C. Spatial specificity of H₂O₂-generating oxalate oxidase gene expression during wheat embryo germination // Plant. J. – 1998. – V. 15. – P. 165–171.
- Makandar R., Nalam V., Chaturvedi R., Jeannotte R., Sparks A.A., Shah J. Involvement of salicylate and jasmonate signaling pathways in arabidopsis interaction with *Fusarium graminearum* // Mol. Plant-Microbe Interaction. – 2010. – V. 23, No. 7. – P. 861–870.
- Vuletić M., Šukalovich V.H. Characterization of cell wall oxalate oxidase from maize roots // Plant Sci. – 2000. – V. 157. – P. 257–263.

FEATURES OF FORMATION OF THE PROTECTIVE RESPONSE OF WHEAT PLANTS TO THE FUNGUS *DRECHSLERA SOROKINIANA* UNDER THE INFLUENCE OF SALICYLIC AND JASMONIC ACIDS

L.G. Yarullina^{1,2}, R.F. Isaev³, L.M. Yarullina², V.O. Tsvetkov²

¹Institute of Biochemistry and Genetics - Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia, yarullina@bk.ru

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State University», Ufa, Russia, zv347@yandex.ru

³Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, Russia, elmira.nailevna.karimova@mail.ru

Abstract. The effect of presowing treatment of seeds with salicylic (SA) and Jasmine (JA) acids on the resistance of wheat leaves to infection with *Drechslera sorokiniana* was studied. Treatment with SA and JA contributed to the decline in the degree of infestation of the leaves by the pathogen. Increasing the resistance of wheat to *D. sorokiniana* under the influence of signal molecules was due to the accumulation of hydrogen peroxide and activation of oxalate oxidase (OxO). The JA had a more intense inducing effect on the activity of OxO and on the content of H₂O₂ in comparison with SA.

Keywords: wheat, root rot, salicylic acid, jasmonic acid, induced resistance