

УДК 632.912.2

РОЛЬ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ И ЗЛАКОВОЙ ТЛИ *SCHIZAPHIS GRAMINUM* ПРИ УЧАСТИИ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ РОДА *BACILLUS*

С.Д. Румянцев, Г.Ф. Бурханова, С.В. Веселова, И.В. Максимов

Институт биохимии и генетики Уфимского научного центра РАН, Уфа, Россия, rummyantsev-serg@mail.ru

Цель исследования – изучение влияния бактериальных штаммов рода *Bacillus* на индукцию неспецифических защитных реакций в растениях пшеницы, инфицированных злаковой тлей (*Schizaphis graminum*). Результаты показали, что изученные бактериальные штаммы повышали устойчивость растений пшеницы к злаковой тле за счет увеличения выработки активных форм кислорода и накопления фенольных соединений. Наибольший защитный эффект оказала смесь бактериальных штаммов.

Ключевые слова: оксидоредуктазы, фенольные соединения, системная устойчивость.

Одним из основных вредителей пшеницы, ухудшающим качество урожая, считается злаковая тля (*Aphididae*), в частности наиболее распространенный на территории России вид – обыкновенная злаковая тля (*S. graminum*). В связи с выработкой многими видами тли устойчивостью к инсектицидам, поиск биопрепаратов, основанных на стимулирующих рост растений бактериях (СРРБ) (от plant growth promoting bacteria – PGPB) является перспек-

тивным направлением в защите от вредителей. Отличительной особенностью тлей, заключающейся в их типе питания, является минимальное нанесение повреждений растению, и, как следствие, вместо классической ответной реакции на поранение индуцируется защитный ответ как при инфицировании патогенами [Guan et al., 2015]. Кроме того, элиситоры тлей, содержащиеся в их слюне, могут вызывать неспецифическую защитную реакцию в

растениях на транскриптомном и протеомном уровнях, вовлекая гены и белки связанные с сигнальными путями салициловой и жасмоновой кислот, окислительным стрессом, засухой, поранением и инфицированием патогенами. В свою очередь, СРРБ обладают ростостимулирующим эффектом и индуцируют системную устойчивость к широкому спектру вредителей и патогенов, характеризующуюся быстрым и ранним накоплением активных форм кислорода (АФК), в том числе пероксида водорода (H_2O_2), который активирует редокс-чувствительные транскрипционные факторы и гены защитных белков [Togges, 2010]. К сожалению роль СРРБ в развитии устойчивости растений к вредителям изучена недостаточно.

Хотя биохимические механизмы устойчивости к злаковой тле еще до конца не изучены, окислительный «взрыв» в месте инфицирования считается типичной реакцией устойчивости [Moloia, van der Westhuizen, 2006]. Наши результаты показали, что мягкая яровая пшеница сорта Салават Юлаев была восприимчива к злаковой тле, так как мы наблюдали отсутствие накопления транскриптов изученных оксидоредуктаз (НАДФН-оксидазы (*NADPH*) и пероксидазы (*PR-9*)), снижение содержания H_2O_2 , снижение активности растворенных пероксидаз (ПО) (табл.), а также не было обнаружено накопления фенольных соединений, также как и накопление мРНК *PAL* (гена фенилаланинаммоний лиазы) (табл.). Обработка растений

бактериальными штаммами (*Bacillus subtilis* 26Д (Bs26D), *B. thuringiensis* ВКПМ-6066 (Bt6066) и *B. thuringiensis* ВКПМ-5689 (Bt5689)) и их смесью (MIX) повышала все изученные показатели в инфицированных тлей растениях (табл.), но эффективнее других вариантов воздействовала на данные показатели смесь штаммов MIX. Гистохимический анализ накопления H_2O_2 в тканях листа пшеницы в местах инфицирования тлями показал отсутствие его генерации в необработанных бактериями растениях и значительное повышение его содержания в вариантах обработанных Bs26D и MIX, в которых наблюдали накопление H_2O_2 в клетках мезофилла, эпидермиса и устьицах. Тогда как в вариантах обработанных Bt6066 и Bt5689 генерацию H_2O_2 наблюдали в большей степени в проводящих пучках и в меньшей – в клетках мезофилла. Кроме того, накопление фенольных соединений в пораженных злаковой тлей листьях было обнаружено только в растениях обработанных бактериями, также как и накопление мРНК *PAL* (табл.).

Таким образом, влияние бактериальных штаммов на устойчивость растений пшеницы к злаковой тле проявлялось через генерацию H_2O_2 , выполняющего роль сигнала в дальнейшей индукции защитного ответа, активируя синтез лигнина и фенольных соединений, необходимых для обезвреживания тли.

Таблица. Влияние эндофитных штаммов рода *Bacillus* и их композиции на генерацию H_2O_2 , накопление транскриптов *PR*-генов и активность пероксидазы (ПО) в листьях растений пшеницы через 3 суток инфицирования злаковой тлей *S. graminum*

Вариант	Генерация H_2O_2 , мкМ H_2O_2 /г сырой массы		Накопление транскриптов <i>PR</i> -генов, % от контроля			Активность ПО, оп.ед./мг белка	
	Контроль	<i>S. graminum</i>	<i>NADPH</i>	<i>PR-9</i>	<i>PAL</i>	Контроль	<i>S. graminum</i>
Контроль	20.6±0.2	11.4±0.9	34	165	114	35.6±0.5	22.3±0.8
Bs26D	19.5±0.5	31.4±1.2	340	254	256	39.5±0.5	60.1±0.7
Bt6066	20.1±1.3	39.9±1.5	262	121	128	43.3±1.1	42.4±0.7
Bt5689	18.4±0.9	39.1±1.6	102	180	136	43.4±0.7	40.5±0.6
MIX	20.2±0.6	37.4±1.1	444	270	256	33.6±0.5	50.9±0.8

Библиографический список (References)

- Guan W., Ferry N., Edwards M.G., Othman H., Gatehouse A.M.R. Proteomic analysis shows that stress response proteins are significantly up-regulated in resistant diploid wheat (*Triticum monococcum*) in response to attack by the grain aphid (*Sitobion avenae*) // Mol Breed., 2015. V. 35. N 2. P. 57.
- Moloia M.J., van der Westhuizen A.J. The reactive oxygen species are involved in resistance responses of wheat to the Russian wheat aphid // Journal of Plant Physiology, 2006. V. 163. P. 1118–1125.
- Torres M.A. ROS in biotic interactions // Physiol. Plant., 2010. V. 138. P. 414–429.

Plant Protection News, 2016, 3(89), p. 143–144

ROLE OF REACTIVE OXYGEN SPECIES IN THE INTERACTION OF THE WHEAT PLANTS AND THE GRAIN APHID *SCHIZAPHIS GRAMINUM* BY ENDOPHYTIC BACTERIA OF THE GENUS *BACILLUS*

S.D. Rumyantsev, G.F. Burkhanova, S.V. Veselova, I.V. Maksimov

Institute of Biochemistry and Genetics Ufa Scientific Centre RAS, rumyantsev-serg@mail.ru

The goal of a research is to study the influence of bacterial strains of the genus *Bacillus* on induction of defense responses in wheat plants infected by cereal aphids. Results showed that studied bacterial strains had increased the resistance of wheat plants to cereal aphids by increasing the production of reactive oxygen species and accumulation of phenolic compounds. The mixture of bacterial strains had the greatest protective effect.