



АКТИВНОСТЬ ГИДРОЛАЗ В ЛИСТЯХ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ РИЗОБАКТЕРИЯМИ И ИНДУКТОРАМИ УСТОЙЧИВОСТИ В УСЛОВИЯХ ЗАРАЖЕНИЯ ФИТОФТОРОЙ И НЕДОСТАТКА ВЛАГООБЕСПЕЧЕНИЯ

¹Цветков В.О., ¹Хабибуллина В.О., ¹Гайнитдинова З.В., ^{1,2}Яруллина Л.Г.

¹Уфимский университет науки и технологий, Россия, 450076, Уфа, ул. Заки Валиди, 32

²Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Россия, 450054, Уфа, Проспект Октября, 71

E-mail: 79173545627@yandex.ru

Резюме

Исследовали изменение активности амилаз, протеаз и целлюлаз в листьях растений картофеля, выращенных в условиях заражения фитофторой и недостатка почвенной влаги, под влиянием предобработки бактериями *Bacillus subtilis*, салициловой кислотой (СК), жасмоновой кислотой (ЖК) и их смесью. В растениях, обработанных *B. subtilis* в сочетании с сигнальными молекулами, наблюдалась более высокая амилолитическая и протеолитическая активность, в особенности сильно этот эффект проявлялся при обработке *B. subtilis* в комбинации с обеими сигнальными молекулами. Обработка растений бактериями совместно с СК и ЖК, активирующая целый комплекс сигнальных путей, может рассматриваться как потенциальный способ индуцирования защитных реакций растений для повышения устойчивости к поражению патогеном.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*, *Bacillus subtilis*, *Phytophthora infestans*, гидролитические ферменты, недостаток влаги

Цитирование: Цветков В.О., Хабибуллина В.О., Гайнитдинова З.В., Яруллина Л.Г. Активность гидролаз в листьях картофеля при обработке ризобактериями и индукторами устойчивости в условиях заражения фитофторой и недостатка влагообеспечения // *Biomics*. 2022. Т.14(4). С. 336-339. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2022-34

© Авторы

HYDROLASE ACTIVITY IN LEAVES OF POTATO TREATED WITH RHIZOBACTERIA AND RESISTANCE INDUCTORS UNDER PHYTOPHTHORA INFECTION AND MOISTURE DEFICIENCY

¹Tsvetkov V.O., ¹Khabibullina V.O., ¹Gainitdinova Z.V., ^{1,2}Yarullina L.G.

¹Ufa University of Science and Technology, 32 Zaki Validi str., Ufa, 450076, Russia

²Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, 71 Pr. Oktyabrya, Ufa, 450054, Russia

Resume

Changes in the activity of amylases, proteases, and cellulases in the leaves of potato plants grown under late blight infection and deficiency of soil moisture under the influence of pretreatment with *Bacillus subtilis* bacteria, salicylic acid (SA), jasmonic acid (JA), and their mixture were studied. In plants treated with *B. subtilis* in combination with signal molecules, higher amylolytic and proteolytic activity was observed, this effect was especially pronounced when treated with *B. subtilis* in combination with both signal molecules. Treatment of plants with bacteria together with SA and JA, which activates a whole complex of signaling pathways, can be considered as a potential way to induce plant defense responses to increase resistance to pathogen attack.

Keywords: Solanum tuberosum, Bacillus subtilis, Phytophthora infestans, hydrolytic enzymes, lack of moisture

Citation: Tsvetkov V.O., Khabibullina V.O., Gainitdinova Z.V., Yarullina L.G. Hydrolase activity in leaves of potato treated with rhizobacteria and resistance inductors under Phytophthora infection and moisture deficiency. *Biomics*. 2022. V.14(4). P. 336-339. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2022-34 (In Russian)

© Authors

Введение

Одним из перспективных путей повышения устойчивости культурных растений к неблагоприятным факторам внешней среды в настоящее время считаются стимулирующие рост растений ризобактерии, в частности, *B. subtilis* [Verma et al., 2017]. Бактерии рода *Bacillus* выделяют в ризосферу множество метаболитов гормональной и сигнальной природы, стимулирующих собственные защитные механизмы растений против абиотических и биотических стрессов. Ключевыми сигнальными путями растений, вовлеченными в эти процессы, являются салицилатный и жасмонатный пути. Одним из важных проявлений защитных реакций растений является модуляция активности гидролитических ферментов, непосредственно вовлеченных как во взаимодействия растения с патогенами, так и в процессы энергетического обмена, связанные с системной устойчивостью растений.

Синтез ингибиторов гидролитических ферментов является одной из важнейших защитных реакций растений при атаке патогенных

микроорганизмов и насекомых-вредителей [Silva et al., 2013]. Широкое распространение ингибиторов гидролаз и их содержание в значительных количествах в тканях растений позволяют говорить о них как об одном из важных звеньев в регуляции различных физиологических процессов. Кроме выполнения защитных функций, они служат регуляторами активности эндогенных ферментов в онтогенезе. Таким образом, активность гидролитических ферментов и их ингибиторов является важным индикатором активации защитных механизмов в тканях растений под влиянием заражения патогеном, обработки эндوفитами и сигнальными молекулами, абиотического стресса.

Результаты и обсуждение

Как видно из результатов, представленных на рис. 1, у незараженных растений через 7 дней после обработки наблюдалось существенное повышение активности амилаз при обработке *B. subtilis*, в том числе совместно с индукторами устойчивости в различных комбинациях.

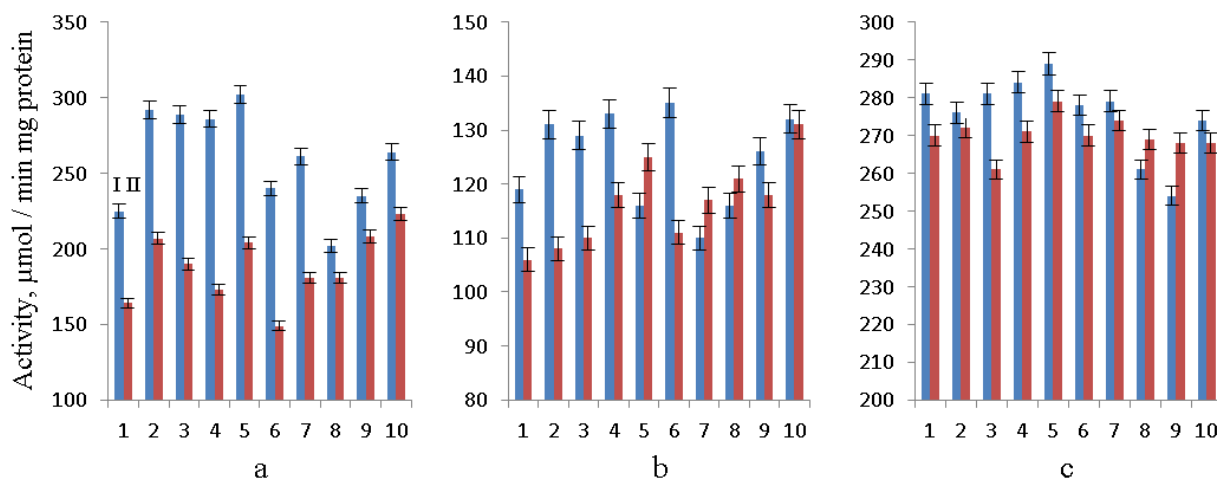


Рис. 1. Активность амилаз (а), протеаз (б), целлюлаз (с) в листьях картофеля при недостатке влаги. 1 – контроль, 2 – *B. subtilis*, 3 – *B. subtilis* + СК, 4 – *B. subtilis* + ЖК, 5 – *B. subtilis* + СК + ЖК, 6 – *P. infestans*, 7 – *B. subtilis* + *P. infestans*, 8 – *B. subtilis* + СК + *P. infestans*, 9 – *B. subtilis* + ЖК + *P. infestans*, 10 – *B. subtilis* + СК + ЖК + *P. infestans*. I – 7 дней, II – 10 дней после обработки.

Fig. 1. Activity of amylases (a), proteases (b), cellulases (c) in potato leaves under a deficiency of moisture. 1 – control, 2 – *B. subtilis*, 3 – *B. subtilis* + SA, 4 – *B. subtilis* + JA, 5 – *B. subtilis* + SA + JA, 6 – *P. infestans*, 7 – *B. subtilis* + *P. infestans*, 8 – *B. subtilis* + SA + *P. infestans*, 9 – *B. subtilis* + JA + *P. infestans*, 10 – *B. subtilis* + SA + JA + *P. infestans*. I – 7 days, II – 10 days after treatment.

В инфицированных растениях через 7 дней после обработки бактерии и индукторы устойчивости производили разнонаправленный эффект: достоверное повышение активности амилаз наблюдалось при обработке *B. subtilis*, в том числе совместно с ЖК, присутствие СК в обоих вариантах опыта вызывало снижение активности. Через 10 дней после обработки наблюдалась повышенная активность амилаз во всех обработанных растениях относительно необработанных, как при заражении фитофторой, так и в отсутствие заражения. Наибольшая активность амилаз как в зараженных, так и в незараженных растениях отмечалась при обработке *B. subtilis* совместно с обеими сигнальными молекулами, а в незараженных растениях – также при обработке *B. subtilis* в отсутствие сигнальных молекул.

Активность протеаз на 7-й день после обработки у незараженных растений повышалась, а в зараженных – понижалась во всех вариантах опыта, за исключением варианта *B. subtilis* + СК + ЖК. В ходе дальнейших наблюдений во всех обработанных растениях выявлялось повышение активности протеаз, более выраженное в зараженных растениях, причем как в зараженных, так и в незараженных растениях, при этом, наибольшая активность отмечалась в варианте с обработкой *B. subtilis* + СК + ЖК. Активность целлюлаз в листьях здоровых растений картофеля в условиях недостатка влаги достоверно повышалась после обработки *B. subtilis* совместно с обеими сигнальными молекулами. В инфицированных *P. infestans* растениях на 7-й день после обработки целлюлолитическая активность понижалась. На 10-й день происходило понижение активности целлюлаз в растениях, предобработанных бактериями совместно с СК или с ЖК, но не при их сочетании. В последующем (10-й день) различий в активности целлюлаз между контрольными, зараженными и предобработанными бактериями совместно с СК или с ЖК растениями не наблюдалось.

Известно, что амилолитическая активность характерна для представителей большинства таксономических групп грибов, и почти всегда эти ферменты представлены конститутивными белками. Однако амилаза отсутствует у оомицетов, в частности у грибов рода *Phytophthora*, которые используют для расщепления крахмала ферменты картофеля, активируя их биосинтез в поражённых тканях [Gappa-Adachi et al., 2012].

Как для амилаз, так и для протеаз можно отметить эффект повышения ферментативной активности в листьях при различных вариантах обработки, в особенности сильно этот эффект проявлялся при обработке *B. subtilis* в сочетании с обеими сигнальными молекулами. Повышение амилолитической и протеолитической активности в

тканях растения можно рассматривать не только как проявление восприимчивости растений к стрессу, но и как составляющую защитных реакций растительного организма. Обработка растений бактериями в сочетании с сигнальными молекулами, активирующая целый комплекс сигнальных путей, может рассматриваться как потенциальный способ индуцирования защитных реакций растений для повышения устойчивости.

В условиях нормальной влажности почвы изменение показателей ферментативной активности в ходе эксперимента, а также под влиянием различных обработок является менее выраженным, чем при недостатке влаги. Это, несомненно, свидетельствует как о вовлеченности гидролаз в реакции на стресс различной природы, так и о возможности модуляции активности гидролаз путем предобработки сигнальными молекулами, в первую очередь с целью повышения устойчивости растений.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Verma P., Yadav A.N., Kumar V., Singh D.P., Saxena A.K. Beneficial plant-microbes interactions: biodiversity of microbes from diverse extreme environments and its impact for crop improvement. In: Singh D.P., Singh H.B., Prabha R. (eds.). Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives. Singapore: Springer. 2017. P. 543-580. doi: 10.1007/978-981-10-6593-4_22
2. Silva T.M., Damásio A.R., Maller A., Michelin M., Squina F.M., Jorge J.A., Polizeli M. de L. Purification, partial characterization, and covalent immobilization-stabilization of an extracellular α -amylase from *Aspergillus niger* // *Folia Microbiol (Praha)*. 2013 V. 58. No. 6. P. 495-502. doi: 10.1007/s12223-013-0230-1.
3. Gappa-Adachi R., Yano K., Takeuchi S., Y. Morita, S. Uematsu. Phytophthora blight of southern star (*Oxypetalum caeruleum*) caused by *Phytophthora palmivora* in Japan // *J Gen Plant Pathol*. 2012.V. 78. P. 39–42. doi: 10.1007/s10327-011-0351-9.

References

1. Verma P., Yadav A.N., Kumar V., Singh D.P., Saxena A.K. Beneficial plant-microbes interactions: biodiversity of microbes from diverse extreme environments and its impact for crop improvement. In: Singh D.P., Singh H.B., Prabha R. (eds.). Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives. Singapore: Springer. 2017. P. 543-580. doi: 10.1007/978-981-10-6593-4_22
2. Silva T.M., Damásio A.R., Maller A., Michelin M., Squina F.M., Jorge J.A., Polizeli M. de L. Purification, partial characterization, and covalent immobilization-stabilization of an extracellular α -amylase from

Aspergillus niveus. *Folia Microbiol (Praha)*. 2013 V. 58. No. 6. P. 495-502. doi: 10.1007/s12223-013-0230-1.
3. Gappa-Adachi R., Yano K., Takeuchi S., Y. Morita, S. Uematsu. *Phytophthora blight of southern star (Oxypetalum caeruleum) caused by Phytophthora palmivora in Japan. J Gen Plant Pathol.* 2012.V. 78. P. 39-42. doi: 10.1007/s10327-011-0351-9.