

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES OF BIOLOGICAL AND MEDICAL

ISSN 2224-5308

Volume 1, Number 313 (2016), 77 – 83

INFLUENCE OF FUSARIC ACID ON THE ACTIVITY β-1,3-GLUCANASE AND CHITINASE OF WHEAT PLANTS

**N. S. Mamytova, A. Dalelhankhyzy, B. Tilegen,
Zh. D. Beskempirova, V. A. Kuzovlev, A. A. Khakimzhanov**

M. A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry CS MES RK, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: a.khakimzhanov@mail.ru

Keywords: wheat seedlings, β-1,3-glucanase, chitinase, isoenzymes, fusaric acid.

Abstract. Toxins of phytopathogenic fungi play an important role in the pathogenesis of diseases of the plants. Fusaric acid (FA) is a non-specific and relatively weak phytotoxins produced by fungi of the genus *Fusarium*. FA has a range of negative effects on physiological and biochemical level of the host plant. It affects the transmembrane ion transfer, induces the loss of metabolites, apoptosis and cellular necrosis causing wilting plants. This toxin reduces the activity of enzymes amino acid synthesis, inhibits nitrogen flow in the leaves and protein accumulation. Prolonged exposure FA depresses the respiratory activity, reduces the rate of photosynthesis, generation ATP, and finally, the biomass plant.

Information on the influence of fusaric acid on the antifungal proteins of the host plant is very limited. In this paper we examined the effect of exogenous FA on β -1,3-glucanase and chitinase of wheat seedlings. Activity and isoenzyme composition was determined by spectrophotometry and isoelectric focusing.

The study showed a biphasic response in early enzyme activity (the 2nd and 6th hour) roots and stems in response to fusaric acid. All concentrations of FC (from 10^{-4} to 10^{-7} M) increased the enzyme activity by 40-60%. Among the β -1,3-glucanases of seedlings FA induced neutral and alkaline isoenzymes, particularly with pI 9.1 and 9.4 and among the chitinases - preferably acidic isoforms with pI 3.1, 3.5, 4.3, 4.7.

It is assumed that fusaric acid has elicitor or hormone-like effect on the wheat plant, causing a low-dose induction and increased synthesis of certain isoforms of β -1,3-glucanase and chitinase.

Results may be used in enzymology interactions of plants and phytopathogenic fungi.

УДК 581.19:633.1

ВЛИЯНИЕ ФУЗАРЕВОЙ КИСЛОТЫ НА АКТИВНОСТЬ β -1,3-ГЛЮКАНАЗЫ И ХИТИНАЗЫ РАСТЕНИЯ ПШЕНИЦЫ

**Н. С. Мамытова, А. Далелханкызы, Б. Тилеген,
Ж. Д. Бескемпирова, В. А. Кузовлев, А. А. Хакимжанов**

Институт молекулярной биологии и биологии им. М. А. Айтхожина КН МОН РК, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: проростки пшеницы, β -1,3-глюканаза, хитиназа, изоферменты, фузариевая кислота.

Аннотация. Токсины фитопатогенных грибов играют важную роль в патогенезе заболеваний растений. Фузариевая кислота (ФК) является неспецифическим и относительно слабым фитотоксином, продуцируемым грибами рода *Fusarium*. ФК оказывает комплекс негативных воздействий на физиологико-биохимическом уровне растения-хозяина. Она влияет на трансмембранный перенос ионов, индуцирует потерю метаболитов, апоптоз и некроз клеток, вызывая увядание растений. Этот токсин снижает активность ферментов синтеза аминокислот, ингибирует поступление азота в листья и накопление в них белка. При длительном воздействии ФК угнетает дыхательную деятельность, снижает скорость фотосинтеза, генерирование АТФ и, в конечном итоге, биомассу растения.

Сведения по влиянию фузариевой кислоты на антифунгальные белки растения-хозяина весьма ограничены. В данной работе изучалось воздействие экзогенной ФК на β -1,3-глюканазу и хитиназу проростков пшеницы. Активность и изоферментный состав определяли методами спектрофотометрии и изоэлектрофокусирования.

В результате исследования установлен ранний двухфазный отклик в ферментной активности (на 2-й и 6-й час) корней и стеблей в ответ на действие фузариевой кислоты. Все концентрации ФК (от 10^{-4} до 10^{-7} M) повышали активность ферментов на 40-60%. В составе β -1,3-глюканазы проростков ФК индуцировала нейтральные и щелочные изоферменты, в особенности с pI 9.1 и 9.4 а среди хитиназ - преимущественно кислые изоформы с pI 3.1, 3.5, 4.3, 4.7.

Предполагается, что фузариевая кислота обладает элиситорным или гормонподобным эффектом на растение пшеницы, вызывая в малых дозах индукцию и усиление синтеза некоторых изоформ β -1,3-глюканазы и хитиназы.

Результаты могут быть использованы в энзимологии взаимодействия растений и фитопатогенных грибов.

Введение. Фитопатогенные грибы рода *Fusarium* продуцируют ряд токсинов, которые могут проникать в ткани растения-хозяина и вызывать его болезнь или гибель. Токсины различаются по химической природе, степени токсичности, специфичности и механизму действия. Токсины фитопатогенных грибов играют важную роль в патогенезе заболеваний растений. Среди них широко распространены дезоксиниваленол (ДОН), зеараленон (ЗЕН), а также Т-2 токсин с выраженным токсическими свойствами. В большинстве регионов мира ДОН и Т-2 токсин выявляют в качестве контаминаントов зерна, в первую очередь пшеницы [1]. В связи с этим, биохимические и ингибиторные свойства наиболее исследованы для этих двух токсинов. Наряду с ДОН и Т-2 токсином грибы рода *Fusarium* способны продуцировать и другие трихотеценовые микотоксины [2].

Фузариевая кислота (ФК) является неспецифическим и относительно слабым фитотоксином. ФК была впервые выделена Т. Yabuta и др. в 1937 г. как соединение, которое ингибирует рост проростков риса «баканэ» [3]. ФК производится несколькими видами грибов *Fusarium* и, в частности *F. graminearum*, поражающего в основном злаковые культуры [4]. По своей химической природе ФК является производной пиколиновой кислоты (5-бутилпиридин-2-карбокси кислота). При декарбоксилировании в больном растении из фузариевой кислоты образуется 3 н-бутилпиридин, токсическое действие которого в 100 раз больше. У устойчивых кувяданию сортов ФК может метилироваться по атому азота в пиридиновом кольце с образованием амидной формы, не токсичной для растения. Таким образом, устойчивость к токсину у сортов связана со скоростью его детоксикации в этих растениях. Образование ФК не всегда коррелирует с вирулентностью изолятов гриба [5, 6].

Фузариевая кислота оказывает комплекс негативных воздействий на физиологобиохимическом уровне растения-хозяина. ФК относится к группе вивотоксинов, обладающих сильным мембранотропным действием. Она влияет на трансмембранный перенос ионов, индуцирует потерю метаболитов и некрозы клеток, нарушает ритм работы устьиц, вызывая увядание растений [7, 8]. Исследования показали усиливающее действие ФК на липид-пероксидазную активность в корнях и листьях, изменение активности ферментов антиоксидантной системы (фенил-аммоний лиазы, каталазы, супероксиддисмутазы, аскорбат-пероксидазы, пероксидазы) [9, 10], приводящих к накоплению активных форм кислорода и, как следствие, угнетению и гибели клеток.

Установлено, что ФК снижает активность ферментов синтеза аминокислот (глютамин синтетазы, глютамат синтазы, НАДГ-глютамат дегидрогеназы), ингибирует поступление азота в листья, уменьшает накопление амида и белка в листьях и приводит к возрастанию уровня аммония [11]. Показано, что при длительном воздействии ФК угнетает дыхательную деятельность, снижает скорость фотосинтеза, устойчивую проводимость, межклеточную концентрацию CO_2 , генерирование АТФ и, в конечном итоге, биомассу растения [8].

Несмотря на значительные достижения в изучении действия ФК, сведений по влиянию токсина на гидролитические антифунгальные ферменты растения-хозяина накоплено недостаточно. Наша работа посвящена воздействию фузариевой кислоты на β -1,3-глюканазу и хитиназу, участвующих в защите растений от грибных патогенов. Оба фермента относятся к группе т.н. PR-белков (белков, связанных с патогенезом) и ингибируют рост грибов, разрушая β -глюкан и хитин их клеточных стенок [12].

Материалы и методы. Объектами исследования служили 5-ти дневные проростки пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Шортандинская. Проростки обрабатывали различными концентрациями фузариевой кислоты (Sigma, США) в течение 2-16 часов в стерильных условиях.

Активность β -1,3-глюканазы определяли с использованием ламинарина (Sigma, США) в качестве субстрата по модифицированному методу [13]. Хитиназную активность определяли с применением в качестве субстрата коллоидного хитина (Sigma, США) по модифицированному методу [14]. Количественное содержание β -1,3-глюканазы и хитиназы оценивали по образованию продуктов гидролиза - глюкозы и N-ацетилглюказамина, соответственно, которые измеряли динитросалициловой кислотой.

Нативное изоэлектрофокусирование (ИЭФ) β -1,3-глюканазы и хитиназы проводили в пластинах 5% ПААГ толщиной 1 мм с помощью прибора Multiphor II (LKB, Швеция). В качестве амфолитов использовали Servalyt 3-10 (Serva, Германия). Время фокусирования 5 часов при напряжении 600V. Окрашивание пластины ПААГ на хитиназную активность проводили по методу [15]. В качестве субстрата использовали гелевую «реплику» с заполимеризованным 0,02% гликоль хитином (Sigma, США). Проявление зон активности β -1,3-глюканазы глюканазы после ИЭФ проводили с помощью ламинарина в качестве субстрата по методу [16].

Результаты исследования

Изучали влияние фузариевой кислоты на активность и полиморфизм β -1,3-глюканазы и хитиназы в стеблях и корнях 5-суточных проростков пшеницы. В экспериментах использовали различные концентрации ФК: 10^{-4} - 10^{-5} М, 10^{-6} и 10^{-7} М, которые являются токсичными для клеток.

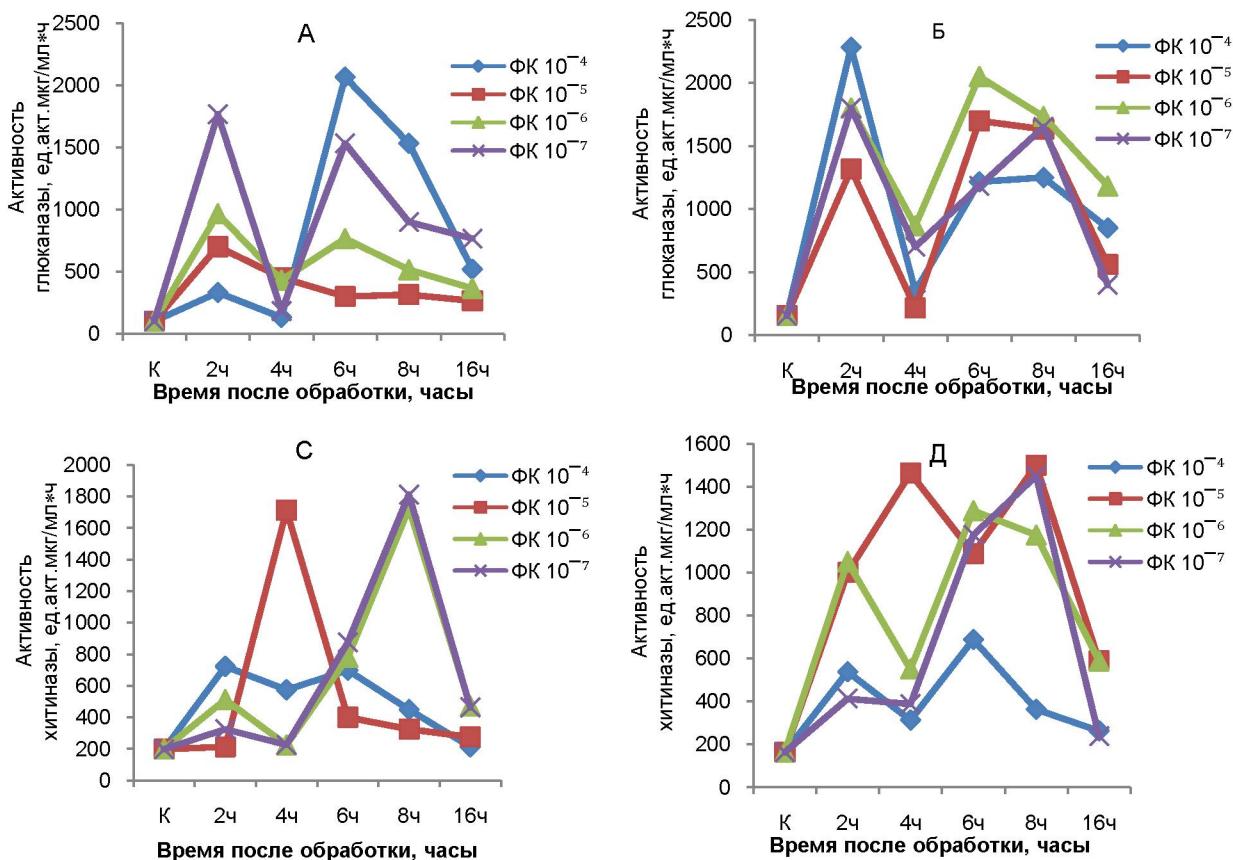


Рисунок 1 – Влияние фузариевой кислоты на активность β -1,3-глюканазы (А,Б) и хитиназы (С,Д) стеблей и корней проростков пшеницы:
А, С – стебель; Б, Д – корень

Из графиков (рисунок 1) видно, что добавление ФК вызывало индукцию синтеза β -1,3-глюканазы и хитиназы в корнях к 2 и 6 часам. Максимальная активность β -1,3-глюканазы в корнях достигала при концентрации агента 10^{-7} М на 2 час инкубации, тогда как максимальная активность глюканазы в стеблях достигала при концентрации ФК 10^{-7} М на 6 час инкубации. Все испытанные концентрации ФК поднимали активность ферментов после 2 и 6 часов инкубации на 40-60%. При этом следует отметить, что уровень воздействия фузариевой кислоты на β -1,3-глюканазу и хитиназу при различных концентрациях был одинаковым.

На изоэлектрофорограммах рисунка 2 видно, что зоны активности β -1,3-глюканазы в основном находятся в щелочной и нейтральной зоне и имеют значения рI 5.2, 5.4, 6.3, 7.2, 8, 9.1 и 9.4. При обработке ФК и с повышением ее концентрации и времени инкубации в стебле индуцировались практически все нейтральные и основные изоформы. При этом максимально активировались мажорные компоненты с рI 9.1 и 9.4. Все изоформы β -1,3-глюканазы проявлялись при концентрации ФК 10^{-7} М после 2 ч и 10^{-4} М после 4 ч инкубации. Изоферменты корней были значительно активнее по сравнению с таковыми стеблей, однако здесь токсин не столь очевидно вызывал усиление изоферментнов. Следует отметить наличие в корне компонента β -1,3-глюканазы с рI 6.3, отсутствующего в стебле.

В отличие от β -1,3-глюканазы зоны активности хитиназы распределялись по всему диапазону рН от 3 до 10. Хитиназа корней и стеблей по набору изоферментов видимых отличий не проявляла. В обработанных ФК стеблях по сравнению с контролем происходило усиление индукции хитиназы с рI 3.1, 3.5, 4.3, 4.7, 7.0. После 4 ч инкубации с ФК в концентрации 10^{-5} и 10^{-6} М происходил синтез *de novo* изофермента с рI 7.0, а также максимально активировался компонент с рI 9.1. В корнях при экспозиции с токсином в основном индуцировался синтез кислых изоформ с рI 3.1 и 3.5.

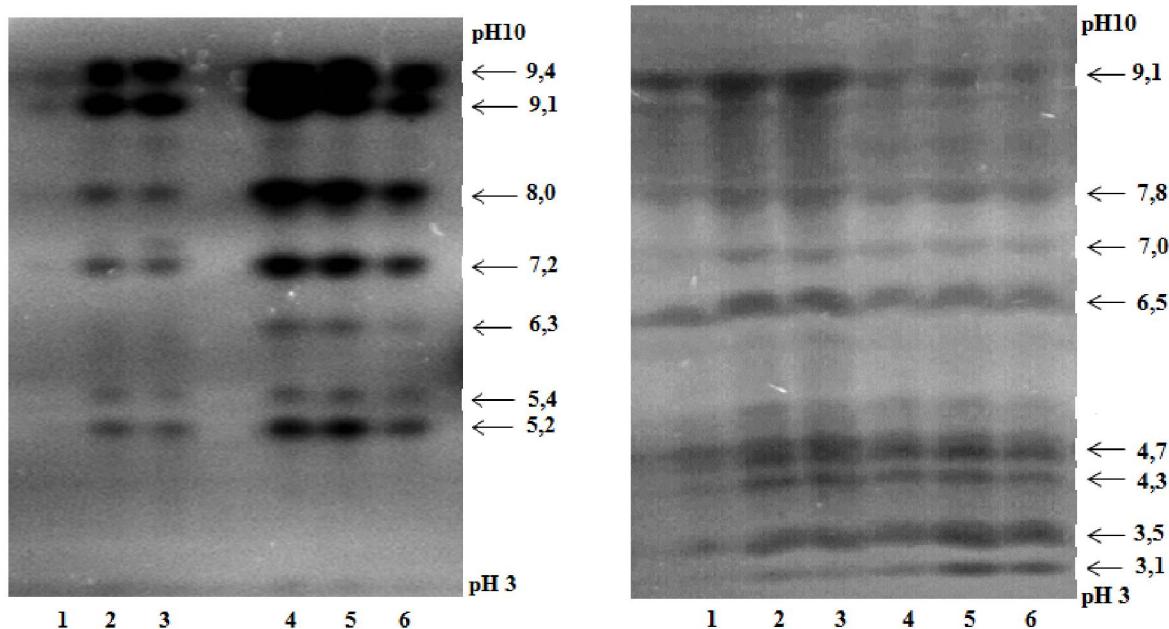


Рисунок 2 – Влияние фузариевой кислоты на изоферменты β -1,3-глюканазы (А) и хитиназы (Б) стеблей и корней проростков пшеницы: А – β -1,3-глюканаза: 1 – исходный стебель; 2 – стебель ФК 10^{-7} М, 2 ч, 3 – стебель ФК 10^{-4} М, 6 ч; 4 – исходный корень; 5 – корень ФК 10^{-4} М, 2 ч; 6 – корень ФК 10^{-5} М, 8 ч. Б – хитиназа: 1 – исходный стебель; 2 – стебель ФК 10^{-5} М, 4 ч; 3 – стебель ФК 10^{-6} М, 8 ч; 4 – исходный корень; 5 – корень ФК 10^{-5} М, 4 ч; 6 – корень ФК 10^{-6} М, 6 ч

Обсуждение результатов

Исследовано влияние экзогенной фузариевой кислоты на активность β -1,3-глюканазы и хитиназы проростков пшеницы. Выявлены особенности в действии ФК на корни и стебли. В обоих органах происходил двухфазный и ранний отклик в ферментной активности – на 2 и 6 час. Все исследованные концентрации ФК от 10^{-4} до 10^{-7} М повышали активность обоих ферментов на 40-60%.

В составе β -1,3-глюканазы стебля ФК индуцировала практически все нейтральные и щелочные изоформы. При этом максимально активировались мажорные изоферменты с рI 9.1 и 9.4. Среди хитиназ проростка токсин активировал кислые с рI 3.1, 3.5, 4.3, 4.7 и один нейтральный компонент 7.0. Таким образом, ФК обладает индуцирующим эффектом на защитные PR-белки растения пшеницы, вызывая в них усиление синтеза ряда изоформ β -1,3-глюканазы и хитиназы.

Ранее, в работе Bouizgarne и др. [17] было показано, что фузариевая кислота в концентрации менее 10^{-6} М способна индуцировать синтез фитоаллексинов в супензационных клетках арабидопсиса, а также вызывать быстрый ответ в трансдукции сигнала при участии кислородных радикалов, увеличению уровня цитозольного Ca^{2+} и ионных каналов. В корнях шафрана ФК в концентрациях 50-100 мкМ запускала апоптоз, а при 200 мкМ – некроз клеток [18]. В апоптозном процессе принимали участие каспаза-подобные протеазы, активируемые H_2O_2 . Данные указывают, что ФК в малых (наномолярных) концентрациях действует как биогенный элиситор.

Похожие результаты были получены в работе Hong-Sheng и др. [9] по действию низких доз ФК на β -1,3-глюканазу и хитиназу корней и листьев растений арбуза. Авторами показано, что в первые часы после экспозиции с токсином наблюдалось некоторое усиление активности этих ферментов, однако позже, наоборот, происходило уменьшение активности. Аналогичная изменчивость в активности была обнаружена для ряда оксидаз – каталазы, пероксидазы и супероксиддисмутазы.

Таким образом, суммируя полученные нами результаты и данные других авторов, можно заключить, что микотоксин фузариевая кислота обладает элиситорным или гормонподобным эффектом на клетки растения, так как способен изменять проводимость мембран, ионных каналов, а также активность ряда ферментов в очень малых (наномолярных) концентрациях.

Источник финансирования исследований. Министерство образования и науки Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Scott P.M. Thrichothecenes in grains // Cereal Foods World. 1990. V.35. No.7. P.661- 666.
- [2] Bottalico A., Perrone G. Toxicogenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe // Eur. J. Plant Pathol. 2002. V.108. P.611-624.
- [3] Yabuta T., Kambe K., Hayashi T. Biochemical studies of the “bakanae” fungus of rice. I. Fusaric acid a new product of the “Bakanae” fungus // J. Agric. Chem. Soc. Jpn. 1937. V.10. P.1059-1068.
- [4] Bacon C. W., Porter J. K., Norred W. P., Leslie J. F. Production of fusaric acid by *Fusarium* species. // Appl. Environ. Microbiol. 1996. V.62, No.11. P.4039-4043.
- [5] Ballio A. Structure-activity relationships // Toxin in plant disease, ed. R.D.Durbin, Acad. Press, N.-Y., 1981.
- [6] Selim M. E., El-Gammal N. A. Role of fusaric acid mycotoxin in pathogenesis process of tomato wilt disease caused by *Fusarium oxysporum* // J Bioprocess Biotech. 2015. V.5 (10). P.2-5.
- [7] Pavlovkin J., Mistrik I., Prokop M. Some aspects of the phytotoxic action of fusaric acid on primary *Ricinus* roots // Plant Soil Environ. 2004. V.50(9). P.397-401.
- [8] Hong-Sheng Wu, Wei Bao, Dong-Yang Liu, Ning Ling, Rong-Rong Ying, Waseem Raza, Qi-Rong Shen. Effect of fusaric acid on biomass and photosynthesis of watermelon seedlings leaves // Caryologia. 2008. V.61, No.3. P.258-268.
- [9] Hong-Sheng Wu, Xiao-Ming Yin, Dong-Yang Liu, Ning Ling, Wei Bao, Rong-Rong Ying, Yi-Yong Zhu, Shi-Wei Guo, Qi-Rong Shen. Effect of fungal fusaric acid on the root and leaf physiology of watermelon (*Citrullus lanatus*) seedlings // Plant Soil. 2008. V.308. P.255–266.
- [10] Singh V.K., Upadhyay R.S. Fusaric acid induced cell death and changes in oxidative metabolism of *Solanum lycopersicum* L. // Botanical Studies. 2014. V.55. P.66-77.
- [11] Hong-Sheng Wu, Xiao-Ming Yin, Yi-Yong Zhu, Shi-Wei Guo, Cheng-Long Wu, Ying-Lin Lu, Qi-Rong Shen. Nitrogen metabolism disorder in watermelon leaf caused by fusaric acid // Physiol. Mol. Plant Pathol. 2007. V.71. P.69-77.
- [12] Ebrahim S., Usha K., Singh B. Pathogenesis related (PR) proteins in plant defense mechanism // In: Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances, A.Mendez-Vilas (ed.). 2011. P.1043-1054.
- [13] Nichols E.J., Beckman J.M., Hadwiger L.A. Glycosidic enzyme activity in pea tissue and pea-*Fusarium solani* interactions // Plant Physiol. 1980. V. 66. P. 199-204.
- [14] Fink W., Liefland M., Mendgen K. Chitinases and β -1,3-glucanases in the apoplastic compartment of oat leaves (*Avena sativa* L.) // Plant Physiol. 1988. V.88. P.270-275.
- [15] Trudel J., Asselin A. Detection of chitinase activity after polyacrylamide gel electrophoresis // Anal. Biochem. 1989. V.178. P.362-366.
- [16] Shen Q. Pan, Xiang S.Ye, Kuc J. A technique for detection of chitinase, β -1,3-glucanases, and protein patterns after a single separation using polyacrylamide gel electrophoresis or isoelectrofocusing // Phytopathology. 1991. V.9. No.9. P. 970-974.
- [17] Bouizgarne B., El-Maarouf-Bouteau H., Frankart C., Reboutier D., Madiona K., Pennarun A. M., Monestiez M., Trouverie J., Amiar Z., Briand J., Brault M., Rona J. P., Ouhdouch Y., El Hadrami I., Bouteau F. Early physiological responses of *Arabidopsis thaliana* cells to fusaric acid: toxic and signalling effects // New Phytol. 2006. V.169. P.209-218.
- [18] Samadi L., Bechboodi B. Fusaric acid induces apoptosis saffron root-tip cells: roles of caspase-like activity, cytochrome c, and H_2O_2 // Planta. 2006. V.225. P.223-234.

REFERENCES

- [1] Scott P.M. Cereal Foods World. 1990. V.35. No.7. P.661- 666.
- [2] Bottalico A., Perrone G. Eur. J. Plant Pathol. 2002. V.108. P.611-624.
- [3] Yabuta T., Kambe K., Hayashi T. J. Agric. Chem. Soc. Jpn. 1937. V.10. P.1059-1068.
- [4] Bacon C. W., Porter J. K., Norred W. P., Leslie J. F. Appl. Environ. Microbiol. 1996. V.62, No.11. P.4039-4043.
- [5] Ballio A. Toxin in plant disease, ed. R.D.Durbin, Acad. Press, N.-Y., 1981.
- [6] Selim M. E., El-Gammal N. A. J Bioprocess Biotech. 2015. V.5(10). P.2-5.
- [7] Pavlovkin J., Mistrik I., Prokop M. Plant Soil Environ. 2004. V.50(9). P.397-401.
- [8] Hong-Sheng Wu, Wei Bao, Dong-Yang Liu, Ning Ling, Rong-Rong Ying, Waseem Raza, Qi-Rong Shen. Caryologia. 2008. V.61, No.3. P.258-268.
- [9] Hong-Sheng Wu, Xiao-Ming Yin, Dong-Yang Liu, Ning Ling, Wei Bao, Rong-Rong Ying, Yi-Yong Zhu, Shi-Wei Guo, Qi-Rong Shen. Plant Soil. 2008. V.308. P.255–266.
- [10] Singh V.K., Upadhyay R.S. Botanical Studies. 2014. V.55. P.66-77.
- [11] Hong-Sheng Wu, Xiao-Ming Yin, Yi-Yong Zhu, Shi-Wei Guo, Cheng-Long Wu, Ying-Lin Lu, Qi-Rong Shen. Physiol. Mol. Plant Pathol. 2007. V.71. P.69-77.

- [12] Ebrahim S., Usha K., Singh B. In: Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances, A.Mendez-Vilas (ed.). 2011. P.1043-1054.
- [13] Nichols E.J., Beckman J.M., Hadwiger L.A. Plant Physiol. 1980. V.66. P.199-204.
- [14] Fink W., Liefland M., Mendgen K. Plant Physiol. 1988. V.88. P.270-275.
- [15] Trudel J., Asselin A. Anal. Biochem. 1989. V.178. P.362-366.
- [16] Shen Q. Pan, Xiang S. Ye, Kuc J. Phytopathology. 1991. V.9. No.9. P.970-974.
- [17] Bouizgarne B., El-Maarouf-Bouteau H., Frankart C., Reboutier D., Madiona K., Pennarun A. M., Monestiez M., Trouverie J., Amiar Z., Briand J., Brault M., Rona J. P., Ouhdouch Y., El Hadrami I., Bouteau F. New Phytol. 2006. V.169. P.209-218.
- [18] Samadi L., Bechboodi B. Planta. 2006. V.225. P.223-234.

БИДАЙ ӨСІМДІГІНДЕГІ β -1,3-ГЛЮКАНАЗА ЖӘНЕ ХИТИНАЗА БЕЛСЕНДІЛІГІНЕ ФУЗАР ҚЫШҚЫЛЫНЫҢ ӘСЕРІ

**Н. С. Мамытова, А. Дәлелханқызы, Б. Тілеген,
Ж. Д. Бескемпірова, В. А. Кузовлев, А. А. Хакімжанов**

КР БФМ ФК М. А. Айтхожин атындағы молекулалық биология және биохимия институты,
Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: бидай ескіндері, β -1,3-глюканаза, хитиназа, изоферменттер, фузар қышқылы

Аннотация. Фитопатогенді саңырауқұлақ токсиндері өсімдік ауруларының патогенезінде маңызды рөл атқарады. Фузар қышқылы (ФК) *Fusarium* туысы саңырауқұлақтары өндіретін арнайы емес және біршама әлсіз фитотоксин болып табылады. ФК өсімдік-қожайынға физиологиялық-биохимиялық деңгейде кешенді келенсіз әсер етеді. Ол трансемембранның иондар тасымалына әсер етіп, метаболиттердің жойылуын индуцирлеп, жасушаларда апаптоз және некроз тудырып өсімдіктің солуына алып келеді. Бұл токсин ферменттердің белсенділігін, аминқышқылдар синтезін төмендетіп, жапырактарға азоттың түсін және онда акуыздар жинақталуын ингибирайді. ФК ұзақ уақыт әсер етіп тыныс алу іс әрекетін, фотосинтез жылдамдығын, АТФ түрленуін төмендетеді, ең соңында өсімдік биомассасын азайтады.

Фузар қышқылының өсімдік-қожайынның антифунгалды акуызына әсері туралы мәліметтер жеткіліксіз. Берілген жұмыста экзогенді фузар қышқылының бидай ескіндеріндегі β -1,3-глюканаза және хитиназаға әсері зерттелді. Ферменттердің белсенділігі және изоферменттік құрамы спектрофотометрия және изоэлектрофорокустеу әдісі арқылы анықталды.

Зерттеу нәтижесінде фузар қышқылының әсеріне жауап ретінде тамырда және сабакта фермент белсенділігінің ерте екіфазалық (2 және 6 сағат) жауап беруі анықталды. ФК барлық концентрациясы (10^{-4} тен 10^{-7} М аралығы) фермент белсенділігін 40-60% қөтерді. Өскіндерде ФК β -1,3-глюканаза құрамының нейтральды және сілтілік изоферменттерін, әсіресе рI 9.1 және 9.4, ал хитиназада әсіресе қышқылдық изоформаларды - рI 3.1, 3.5, 4.3, 4.7 индуцирледі.

Фузар қышқылы бидай өсімдігінде β -1,3-глюканаза және хитиназаның кейбір изоформаларының синтезін күштейтетін және аз мөлшерде индукция тудыратын, элиситорлы және гормонтәрізді қабілетке ие екендігі болжанды.

Нәтижелер өсімдіктер мен фитиопатогенді саңырауқұлактардың өзара қарым-қатынасы энзимологиясында пайдаланылуы мүмкін.

Поступила 02.02.2016 г.