

УДК 581.1:631.527:633.11

ВЛИЯНИЕ СТРЕССОВЫХ ТЕМПЕРАТУР НА АКТИВНОСТЬ ЛИПОКСИГЕНАЗ У *TRITICUM SPELTA*

© 2018 г. Л. М. Бабенко

Институт ботаники им. Н.Г. Холодного
Национальной Академии наук Украины
(Киев, Украина)

Изучено влияние кратковременных теплового (+40°C, 2 ч) и холодого (+4°C, 2 ч) температурных стрессов на липоксигеназную (ЛОГ) активность *Triticum spelta* L. Впервые в надземной части идентифицированы три молекулярные формы 9-ЛОГ: ЛОГ-1 (pH_{опт.} 5,5), ЛОГ-2 (pH_{опт.} 5,8) и ЛОГ-3 (pH_{опт.} 6,2), в корнях – одна 9-ЛОГ (pH_{опт.} 6,0). Отмечено, что активность ЛОГ-1 и ЛОГ-2 в надземной части и ЛОГ в корнях значительно увеличивалась после кратковременной гипертермии. Интенсивность реакции на тепловой стресс у *T. spelta* значительно превышала такую на холодое воздействие. Предполагается, что молекулярные формы ЛОГ, имеющие различную локализацию, дифференцированно вовлечены в адаптацию растений *T. spelta* к стрессовым температурам.

Ключевые слова: *Triticum spelta*, липоксигеназа, гипотермия, гипертермия

В современном производстве пшеницы четко обозначились тенденции, сосредоточенные на возрождении, селекции и внедрении в производство забытых региональных зерновых культур, так называемых «античных злаков», обладающих ценными хозяйственными свойствами (Моргун та ін., 2015; Голик, 2016; Бабенко та ін., 2017; Косаківська та ін., 2017). Одним из таких злаков является *Triticum spelta* (Господаренко та ін., 2016; Косаківська та ін., 2017). Эта культура переживает второе рождение благодаря своим ценным пищевым и хозяйственным свойствам, которые отсутствуют у мягкой пшеницы (Господаренко та ін., 2016).

Экстремальные температуры являются одним из самых распространенных природных стрессоров, которые провоцируют нарушение водного режима, замедляют рост, негативно влияют на урожайность аграрных культур (Hurkman, Wood, 2011; Barlow et al., 2015; Hatfield, Prueger, 2015). Одним из эффектов температурных стрессов является изменение функциональных свойств мембран клетки. Температура влияет на текучесть мембран, изменяет их проницаемость и скорость метабо-

лизма (Larkindale, Huang, 2004). Интенсификация процессов окисления мембранных липидов, в том числе пероксидное окисление липидов (ПОЛ), рассматривается не только как признак повреждения, но в качестве сигнального механизма, запускающего адаптивные программы при стрессах. ПОЛ инициируется α-диоксигеназами и липоксигеназами (ЛОГ) (Porta, Rocha-Sosa, 2002; Feussner, Wasternack, 2002). Липоксигеназный каскад является источником физиологически активных соединений – оксипинов (Stumpe, Feussner, 2006; Mosblech et al 2009; Savchenko et al., 2014; Babenko et al., 2017).

Ключевой фермент каскада – ЛОГ (линолеат: оксидоредуктаза кислорода, КФ 1.13.11.12) – металлопротеин, катализирует присоединение молекулярного кислорода в местах двойных связей углеродной цепи полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) (Porta, Rocha-Sosa, 2002; Feussner, Wasternack, 2002). Образование гидропероксидов конъюгированных диенов – основная реакция в каскаде, приводящая к формированию семи энзимных ветвей, конечными продуктами которых являются биологически активные метаболиты (Feussner, Waster, 2002; Andreou, Feussner, 2009; Ivanov et al., 2010; Joo, Oh, 2012; Babenko et al., 2017; Meng et al., 2017). Они задействованы в регуля-

ции роста и развития, формировании реакций на сигналы внешней среды, обеспечивают связь между царствами живых организмов (Van der Ent et al., 2009; Christensen, Kolomiets 2011; Savchenko et al., 2014; Borrego, Kolomiets, 2012, 2016; Babenko et al., 2014, 2017; Wasternack, Song, 2017).

Семейство ЛОГ разделяют на две группы: 9-ЛОГ и 13-ЛОГ. 9-ЛОГ катализирует реакцию образования 9-гидропероксидов, а 13-ЛОГ – 13-гидропероксидов ПНЖК (Ivanov et al., 2010; Borrego, Kolomiets, 2016). Существование множественных изоформ липоксигеназы и различная субклеточная локализация предполагают полифункциональность этого фермента и вовлечение его в различные процессы (Kulkarni et al., 2002; Braido et al., 2004; Покотило и др., 2015; Babenko et al., 2017). ЛОГ найдена у более чем у 60 видов организмов (Ivanov et al., 2010; Borrego, Kolomiets, 2016). Фермент участвует в образовании вторичных метаболитов – альдегидов и жасмонатов, задействованных в формировании защитных реакций растений (Savchenko et al., 2014; Roy et al 2011; Babenko et al., 2015; Tiwari et al., 2016; Babenko et al., 2017; Meng et al., 2017; Wasternack, Song, 2017).

Результаты, полученные при исследовании влияния температуры на активность ЛОГ растений, носят фрагментарный и неоднозначный характер. Так, изучение липоксигеназной активности у чувствительного к низким положительным температурам вида *Cucumis sativus* показало, что при низкотемпературном стрессе изменений в активности не наблюдалось, тогда как у устойчивого вида *Cucurbita ficifolia* активность всех изоформ ЛОГ возрастала (Lee et al., 2005). В плодах *C. sativus* при низких температурах активность ЛОГ возрастала, а при температуре 37°C снижалась. Предполагается, что уменьшение активности может быть результатом тепловой инактивации фермента (Мао et al., 2007). Увеличение ЛОГ активности зафиксировано в различных тканях проростков кукурузы при гипотермии (Pinhero et al., 1998). В мезокотилеях этиолированных проростков кукурузы идентифицированы 9- и 13-ЛОГ активности. Однако при кратковременной гипотермии возрастала только 13-ЛОГ активность. Интенсификация 13-ЛОГ пути синтеза оксипинов, направленная на формирование ответа растительной клетки в условиях низких температур, с большой вероятностью может быть причастна к реализации антистрессовых программ (Korich et al., 2010). Показано, что обработка криопротектором *Solanum lycopersicum*

активирует гены липоксигеназ, что в последующем защищает растения от холодового стресса (Karabudak et al., 2014).

В наших предыдущих исследованиях у новых высокопродуктивных сортов *Triticum aestivum* были идентифицированы изоформы ЛОГ с различными рН оптимумами, однако их физиологическая функция при температурном стрессе в настоящее время окончательно не выяснена (Babenko et al., 2014; Babenko, 2017). В формировании стратегии защиты от неблагоприятных воздействий у растений вовлечено множество различных генов, однако в запуске первых фаз стрессовых реакций предполагается участие общих для различных организмов генов и сигнальных путей (Karabudak et al., 2014). В связи с тем, что ЛОГ как фермент, причастный к сигналингу, участвует в формировании реакций-ответов на стресс, целью настоящей работы была идентификация и сравнительное изучение эффектов кратковременной гипотермии на активность ЛОГ у *T. spelta*.

МЕТОДИКА

Объекты исследования. Исследования проводили с 14-дневными растениями *Triticum spelta* сорта Франкенкорн. Сорт среднерослый, устойчив к полеганию, чрезмерному увлажнению, морозоустойчивый, экологически пластичный (Schmitz, 2006). Семена были получены из коллекции Национального центра генетических ресурсов растений Украины (г. Харьков).

Условия выращивания растений. Семена помещали в чашки Петри на увлажненную раствором Кнопа фильтровальную бумагу и переносили в термостат, где они находились в темноте при температуре +24°C в течение суток. Затем чашки Петри с проросшими семенами помещали на 14 суток в камеру искусственного климата при температуре +24°C, освещении 180 мкмоль/м²·с. Фотопериод составлял 16/8 ч (день/ночь). Для создания условий теплового и холодового стрессов 14-дневные растения подвергали кратковременному (в течение 2 ч) воздействию температур + 40°C и + 4°C при указанном ранее режиме освещения.

Определение активности ЛОГ. Для выделения препарата ЛОГ навески растительного материала гомогенизировали в охлажденном до + 4°C 0,1 М фосфатном буфере (рН 6,3), содержащем 2 мМ фенилметилсульфонилфторид (ФМСФ), 0,04% метабисульфит натрия (масса/объем). Гомогенат центрифугировали в течение 30 мин при 4000 g и при температуре

ВЛИЯНИЕ СТРЕССОВЫХ ТЕМПЕРАТУР

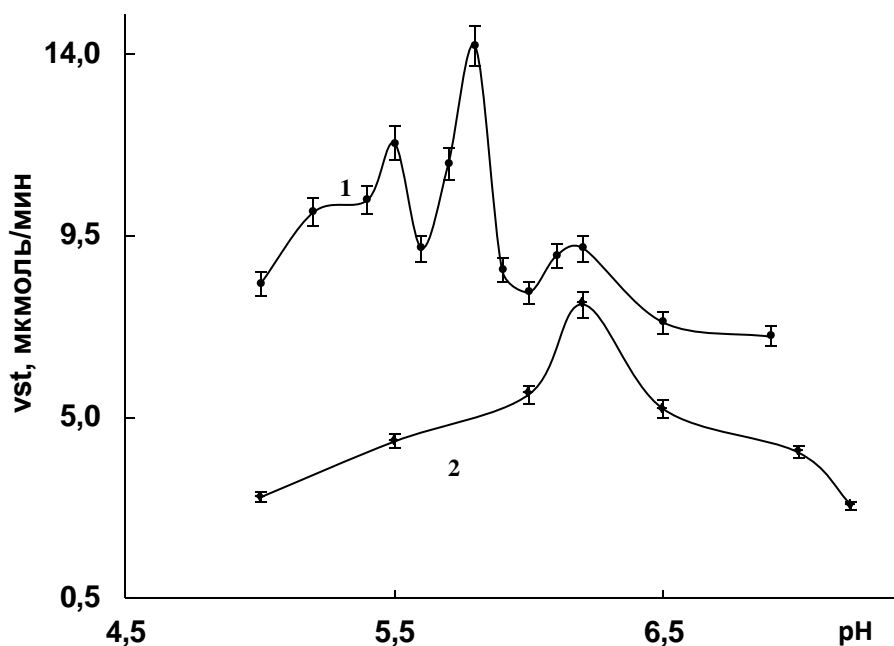


Рис. 1. Зависимость стационарной скорости реакции (Vst) окисления линолевой кислоты от pH инкубационной среды в надземной части (1) и корнях (2) 14-дневных растений *T. spelta*.

+ 4°C. Полученный супернатант использовали для определения активности ЛОГ. Для построения кривых pH-зависимости стационарных скоростей реакции липоксигеназного окисления линолевой кислоты использовали 0,1 М натрий-ацетатный (pH 4,0-5,5), 0,1 М натрий-фосфатный (pH 6-8) и 0,1 М боратный (pH 8,0-9,5) буферные растворы. Концентрация линолевой кислоты в реакционной смеси общим объемом 2,5 мл составила 100 мкМ в присутствии 0,02% луброла РХ (масса/объем).

Определение активности ЛОГ проводили на спектрофотометре Specord M-40 (Gibian, Vandenberg; 1987). Реакцию инициировали путем добавления 50-100 мкл фермента (концентрация белка составляла 0,5-1,5 мг/мл) и проводили в условиях постоянной температуры 25 ± 0,1°C. За ходом реакции наблюдали, учитывая увеличение оптической плотности реакционной смеси при λ = 235 нм, соответствующей максимальному поглощению сопряженного диенового хромофора в молекуле гидропероксида линоленовой кислоты, молярный коэффициент экстинкции которого составляет 23000 М⁻¹ см⁻¹ (Gibian, Vandenberg, 1987). Содержание белка определяли по методу Bradford (1976).

Опыты проводили в двух биологических и трех аналитических повторностях. В каждую биологическую повторность отбирали по 40 растений. При построении кинетических зависимостей использовали средние значения Vst,

которые определяли в трех измерениях (разница между величинами составляла не более 5%). Статистическую обработку результатов проводили с использованием *t*-критерия Стьюдента, статистически достоверной считали разницу при *P* ≤ 0,05. На графиках и диаграммах представлены средние арифметические и их стандартные ошибки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В надземной части 14-дневных растений *T. spelta* сорта Франкенкорн были выявлены три молекулярные формы 9-ЛОГ: ЛОГ-1 (pH_{опт.} 5,5), ЛОГ-2 (pH_{опт.} 5,8) и ЛОГ-3 (pH_{опт.} 6,2). Одна изоформа 9-ЛОГ (pH_{опт.} 6,0) была идентифицирована в корнях (рис. 1).

В контрольных условиях активность молекулярных форм ЛОГ, находящихся в надземной части растений, была существенно выше, чем в корнях. После кратковременной гипертермии активность ЛОГ-1 и ЛОГ-2 возрастала на 155 и 168%, соответственно. Наиболее значительное, почти в три раза, увеличение активности зафиксировано у 9-ЛОГ, локализованной в корневой системе растений (рис. 2).

После кратковременной гипотермии также наблюдались изменения в активности молекулярных форм ЛОГ, однако они были разной направленности. Так, активность ЛОГ-1 и ЛОГ-2 возрастала, тогда как ЛОГ-3 и 9-ЛОГ уменьшалась. Наибольшее увеличение каталитиче-

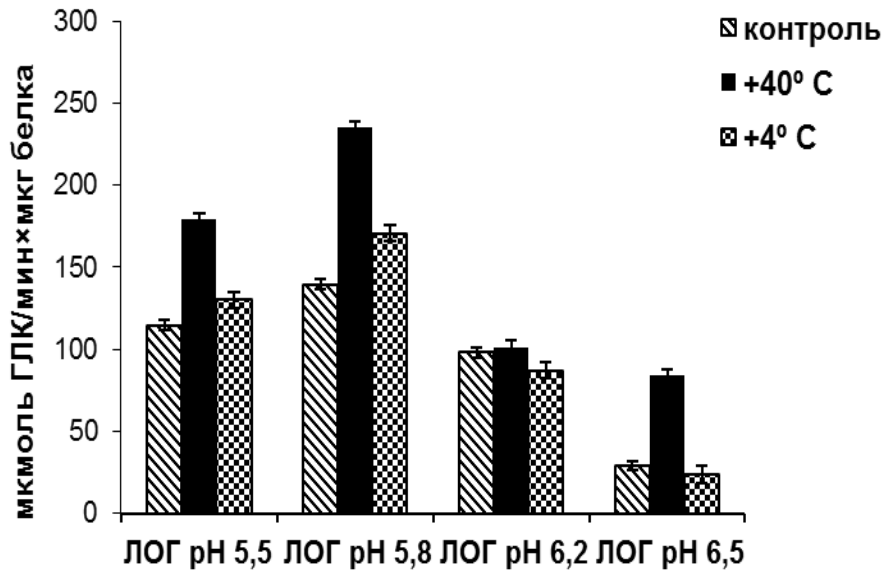


Рис. 2. Активность молекулярных форм 9-ЛОГ в надземной части и корнях 14-дневных растений *T. spelta* в контроле и после кратковременного действия гипер- и гипотермии.

ской активности наблюдалось у ЛОГ-2. В целом эффекты гипертермии были более выраженными. Наиболее чувствительно реагировала на высокую температуру 9-ЛОГ, идентифицированная в корнях растений. Самые высокие показатели активности, как в контроле, так и после температурных стрессов были выявлены у ЛОГ-2, локализованной в надземной части (рис. 2).

В наших предыдущих работах было проанализировано влияние температурного режима на липоксигеназную активность *Brassica napus* и *T. aestivum* и показано, что у жароустойчивых сортов активность энзима уменьшалась после ходового воздействия, тогда как у морозоустойчивых сортов сохранялась на достаточно высоком уровне (Косаківська та ін., 2012; Babenko, 2017).

Таким образом, после кратковременной гипертермии активность молекулярных форм ЛОГ в органах растений *T. spelta* возрастала, тогда как после гипотермии – в надземной части у двух форм увеличивалась, а у одной незначительно уменьшалась. Снижение активности ЛОГ после холодового стресса имело место и в корневой части. В целом интенсивность реакции на тепловой стресс значительно превышала такую на холодовое воздействие. Можно полагать, что молекулярные формы ЛОГ, имеющие различную локализацию, дифференцированно вовлечены в адаптацию растений *T. spelta* к температурному стрессу.

Работа выполнена в рамках проекта «Фитогормональная система новых генотипов *Triticum aestivum* L. и её диких предков при действии экстремальных климатических факторов», финансируемого Национальной академией наук Украины.

ЛИТЕРАТУРА

- Голик О.В., Твердохлеб Е.В., Поздняков В.В., Диденко С.Ю., Богуславский Р.Л. Пленчатые виды пшеницы для органического земледелия // Фундаментальные и прикладные исследования в биоорганическом сельском хозяйстве России, СНГ и ЕС: Междунар. научно-практ. конф. (9-12 августа 2016 г.). Материалы докладов, сообщений. – М., 2016. – Т. 1. – С. 368-378.
- Господаренко Г.М., Костогриз П.В., Любич В.В., Парій М.Ф., Полторецький І.О., Полянецька І.О., Рябовол Л.О., Рябовол Я.С., Суходум О.Г. Пшениця спельта. – К: Стік груп Україна, 2016. – 300 с.
- Косаківська І.В., Бабенко Л.М., Васюк В.А., Войтенко Л.В. Вплив гіпертермії та ґрунтової посухи на ріст, вміст фотосинтетичних пігментів та мікроструктуру епідермісу листка *Triticum spelta* L. // Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту Сер. Біологія. – 2017. – Вип. 3 (42). – С. 81-91.
- Косаківська І.В., Бабенко Л.М., Устїнова А.Ю., Скатерна Т.Д., Деміревська К. Вплив температурного режиму на активність ліпоксигенази проростків ріпаку *Brassica napus* var. *Oleifera* // Доповіді НАН України. – 2012. – № 6. – С. 134-137.
- Моргун В.В., Січкач С.М., Починок В.М., Голик О.В., Чугункова Т.В. Аналіз структури продуктивності колекційних зразків малопоширених видів пше-

ВЛИЯНИЕ СТРЕССОВЫХ ТЕМПЕРАТУР

- ниці // Фактори експериментальної еволюції організмів. – 2015. – Т. 16. – С. 136-140.
- Покотило І.В., Колесников Я.С., Деревянчук М.В., Харитоненко А.И., Кравец В.С.* Липоксигеназы и регуляция метаболизма растительной клетки // *Ukr. Biochem. J.* – 2015. – V. 87, № 2. – С.41-55.
- Andreou A, Feussner I.* Lipoxygenases – Structure and reaction mechanism // *Phytochem.* – 2009. – V. 70. – P. 1504-1510.
- Babenko L.M., Kosakivska I.V., Akimov Yu.A., Klymchuk D.O., Skaternya T.D.* Effect of temperature stresses on pigment content, lipoxygenase activity and cell ultrastructure of winter wheat seedlings // *Genet. Plant Physiol.* – 2014. – V. 4, № 1-2. – P.117-125
- Babenko L.M., Kosakivska I.V., Skaterna T.D.* Jasmonic acid: a role in the regulation of biotechnology and biochemical processes in plants // *Biotechnol. Acta.* – 2015. – V. 82, № 2. – P.36-51
- Babenko L.M., Shcherbatiuk M.M., Skaterna T.D., Kosakivska I.V.* Lipoxygenases and their metabolites in formation of plant stress tolerance // *Ukr. Biochem.J.* – 2017. – V. 89, № 1. – P. 5-21.
- Babenko L.M.* Effect of temperature on lipoxygenase activity in varieties of *Triticum aestivum* L. differing in resistance to abiotic stressors // *J. Stress Physiol. Biochem.* – 2017. – V. 13, № 4. – P. 95-103.
- Barlow K.M., Christy B.P., O'Leary G.J., Riffkin P.A., Nuttall J.G.* Simulating the impact of extreme heat and frost events on wheat crop production: a review // *Field Crops Res.* – 2015. – V. 17. – P. 109-119.
- Borrego E.J., Kolomiets M.V.* Lipid-mediated signaling between fungi and plants // *Biocommunication of Fungi.* - New York: Springer, 2012. – P. 249-260.
- Borrego E.J., Kolomiets M.V.* Synthesis and functions of jasmonates in maize // *Plants.* – 2016. – V. 5 (4). – P. 41-69.
- Bradford M.M.* A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // *Anal. Biochem.* – 1976. – V. 72. – P. 248-254.
- Braidot E., Petrusa E., Micolini S.* Biochemical and immunochemical evidences for the presence of lipoxygenase in plant mitochondria // *J. Exp. Bot.* – 2004. –V. 55. – P. 1655-1662.
- Christensen S.A., Kolomiets M.V.* The lipid language of plant-fungal interactions // *Fungal Genet. Biol.* – 2011. – 48. – P. 4-14.
- Feussner I, Wasternack C.* The lipoxygenase pathway // *Annu. Rev. Plant Biol.* –2002. – V. 53. – P.275-297.
- Gibian M.J., Vandenberg P.* Product yield in oxygenation of linoleate by soybean lipoxygenase: The value of the molar extinction coefficient in the spectrophotometric assay // *Anal. Biochem.* – 1987. – V. 163. – P. 343-349.
- Hatfield J., Prueger J.* Temperature extremes: Effect on plant growth and development // *Weather and Climate Extremes.* – 2015. – V. 10. – P. 4-10.
- Hurkman W.J., Wood D.F.* High temperature during grain fill alters the morphology of protein and starch deposits in the starchy endosperm cells of developing wheat (*Triticum aestivum* L.) grain // *J. Agric. Food Chem.* – 2011. – V. 59. – P.4938-4946.
- Ivanov I., Heydeck D., Hofheinz K., Roffeis J., O'Donnell V.B., Kuhn H., Walther M.* Molecular enzymology of lipoxygenases // *Arch. Biochem. Biophys.* – 2010. – V. 503. – P. 161-174.
- Joo Y.C., Oh D.K.* Lipoxygenases: Potential starting biocatalysts for the synthesis of signaling compounds // *Biotechnol. Adv.* – 2012. – V. 30. – P.1524-1532.
- Karabudak T., Bor M., Özdemir F., Türkan İ.* Glycine betaine protects tomato (*Solanum lycopersicum*) plants at low temperature by inducing fatty acid desaturase 7 and lipoxygenase gene expression // *Mol. Biol. Rep.* – 2014. – V. 41. – P. 1401-1410
- Kopich V. N., Kretynin S. V., Kharchenko O. V., Litvinovskaya R. P., Chashina N. M., Khrpach V.A.* Effect of 24-epibrassinolide on lipoxygenase activity in maize seedlings under cold stress // *Biopolym. Cell.* – 2010. – № 3. – P. 218-224.
- Kulkarni S., Das S., Funk C.* Molecular basis of the specific subcellular localization of the C2-like domain of 5-lipoxygenase // *J. Biol. Chem.* – 2002. – V. 277. – P.13167–13174.
- Larkindale B. Huang A.* Changes of lipid composition and saturation level in leaves and roots for heat-stressed and heat-acclimated creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*) // *Environ. Exp.Bot.* — 2004 — 51.— P.57–67.
- Pinhero R.G., Paliyath G., Yada R.Y., Murr D.P.* Modulation of phospholipase D and lipoxygenase activities during chilling. Relation to chilling tolerance of maize seedlings // *Plant Physiol. Biochem.*– 1998. – V. 36. – P. 213-224.
- Lee S.H., Ahn S.J., Im Y.J., Cho K., Chung G.C., Cho B.H., Han O.* Differential impact of low temperature on fatty acid unsaturation and lipoxygenase activity in figleaf gourd and cucumber roots // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* – 2005. – V. 330. – P. 1194-1198.
- Mao L. Panga H., Wangb G., Chenggang Zhuc C.* Phospholipase D and lipoxygenase activity of cucumber fruit in response to chilling stress // *Postharvest Biol. Technol.* – 2007. – V. 44. – P. 42-47.
- Meng K., Hou Y., Han Y, Ban Q., He Y., Suo J., Rao J.* Exploring the functions of 9-lipoxygenase (DkLOX3) in ultrastructural changes and hormonal stress response during persimmon fruit storage // *Int. J. Mol. Sci.* – 2017. – V. 18. – P. 589-592.
- Mosblech A., Feussner I., Heilmann I.* Oxylipins: structurally diverse metabolites from fatty acid oxidation

БАБЕНКО

- // Plant Physiol. Biochem. – 2009. – V. 47. – P. 511-517.
- Porta H., Rocha-Sosa M. Plant lipoxygenases. Physiological and molecular features // Plant Physiol. – 2002. – V. 130. – P. 15-21.
- Roy S., Maheshwari N, Chauhan R., Kumar Sen N. Structure prediction and functional characterization of secondary metabolite proteins of *Ocimum* // Bioinformation. – 2011. – V. 6. – P. 315-319.
- Savchenko T.V., Zastrijnaja O.M., Klimov V.V. Oxylipins and plant abiotic stress resistance // Biochem. (Mosc.). – 2014. – V. 79. – P. 362-375.
- Stumpe M., Feussner I. Formation of oxylipins by CYP74 enzymes // Phytochem. Rev. – 2006. – V. 5. – P. 347-357.
- Tiwari A., Avashthi H, Jha R., Srivastava A., Garg V., Pramod Ramteke W., Kumar A. Insights using the molecular model of lipoxygenase from finger millet (*Eleusine coracana* (L.)) // Bioinformation. – 2016. – V. 12. – P. 156-164.
- Van der Ent S., Van Wees S.C., Pieterse C.M. Jasmonate signaling in plant interactions with resistance-inducing beneficial microbe // Phytochem. – 2009. – V. 70. – P. 1581-1588
- Wasternack C., Song S. Jasmonates: an update on biosynthesis, metabolism, and signaling by proteins activating and repressing transcription // J. Exp. Bot. – 2017. – V. 68. – P. 1303-1321.

Поступила в редакцію
15.01.2018 з.

INFLUENCE OF STRESS TEMPERATURES ON LIPOXYGENASE ACTIVITY IN *TRITICUM SPELTA*

L. M. Babenko

*Kholodny Institute of Botany
of National Academy of Sciences of Ukraine
(Kyiv, Ukraine)
E-mail: lilia.babenko@gmail.com*

Effects of short-term thermal (+40°C, 2 h) and cold (+4°C, 2 h) stresses on lipoxygenase (LOX) activity in *Triticum spelta* L. were investigated. For the first time in above-ground part of *T. spelta* there were identified three molecular forms of 9-LOX namely LOX-1 (pH_{opt.} 5,5), LOX-2 (pH_{opt.} 5,8) and LOX-3 (pH_{opt.} 6,2), and there in roots one 9-LOX (pH_{opt.} 6,0). Activity of LOX-1 and LOX-2 in above-ground part and LOX in roots was found to increase significantly following a short-term hyperthermia. Intensity of response to a heat stress considerably exceeded that to a cold effect. It is assumed that various molecular forms of LOX that appear to have different cell localization are differentially involved in adaptation of *T. spelta* plants to a temperature stress.

Key words: *Triticum spelta*, lipoxygenase, hypothermia, hyperthermia

ВПЛИВ СТРЕСОВИХ ТЕМПЕРАТУР НА АКТИВНІСТЬ ЛІПОКСИГЕНАЗ У *TRITICUM SPELTA*

Л. М. Бабенко

*Інститут ботаніки ім. М.Г.Холодного
Національної Академії наук України
(Київ, Україна)
E-mail: lilia.babenko@gmail.com*

Досліджено вплив короточасних теплового (+40°C, 2 год) і холодового (+4°C, 2 год) температурних стресів на ліпоксигеназну (ЛОГ) активність *Triticum spelta* L. Уперше в надземній частині ідентифіковані три молекулярні форми 9-ЛОГ: ЛОГ-1 (pH_{opt.} 5,5), ЛОГ-2 (pH_{opt.} 5,8) і ЛОГ-3 (pH_{opt.} 6,2), а в коренях – одна 9-ЛОГ (pH_{opt.} 6,0). Відзначено, що активність ЛОГ-1 і ЛОГ-2 в надземній частині і ЛОГ в коренях значно зростала після короточасної гіпертермії. Інтенсивність реакції на тепловий стрес у *T. spelta* істотно перевищувала таку на холодний вплив. Висловлено припущення, що молекулярні форми ЛОГ, які мають різну локалізацію, диференційовано залучені в адаптацію рослин *T. spelta* до стресових температур.

Ключові слова: *Triticum spelta*, ліпоксигеназа, гіпотермія, гіпертермія