
... РІСТ ТА РОЗВИТОК РОСЛИН ЗА УМОВ СТРЕСУ ...
... PLANT GROWTH AND DEVELOPMENT UNDER STRESS ...

УДК: 581.142:633.11;631.672-022.252

Фізіолого-біохімічні показники проростків пшениць *Triticum aestivum* L. та *Triticum spelta* L. за моделювання водного дефіциту
О.В. Борисова, О.М. Ружицька

Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова (Одеса, Україна)
oljachum@gmail.com; flores@ukr.net

Була проведена порівняльна характеристика ростової реакції проростків насіння *Triticum spelta* L. (var. *duhamelianum*) та *Triticum aestivum* L. (сорт Селянка, сорт Куяльник) за умов моделювання водного дефіциту. Водний стрес був змодельований в результаті пророщування насіння на розчинах нейоногенного полімеру поліетиленгліколю 6000 (ПЕГ 6000) із осмотичним потенціалом від -0,25 МПа до -1,25 МПа. Проростки, сформовані насінням за умов водного стресу, оцінювали за їхніми морфометричними параметрами та вмістом вільного проліну, як маркеру стресових реакцій. Встановлено, що пророщування насіння обох видів за вказаних умов уповільненого водозабезпечення, не викликало, порівняно з контролем, достовірного зниження його схожості, однак, призводило до істотного зменшення показників росту проростків та збільшення в них концентрації вільного проліну. Проростки спельти за умов водного дефіциту характеризувались менш суттєвим зменшенням, у порівнянні із контрольними умовами, довжини та сирію маси коренів, і більшим вмістом вільного проліну, ніж проростки м'якої пшениці дослідних сортів. Показано, що в створених умовах водного дефіциту, за схожістю насіння, морфометричними показниками пагонів та коренів проростків, насіння зразків спельти не поступалось насінню м'якої пшениці посухостійких сортів. Обговорюються можливі механізми, що задіяні у формуванні стійкості проростків спельти до умов водного дефіциту.

Ключові слова: *Triticum spelta* L., *Triticum aestivum* L., водний стрес, осмотично активні сполуки, посухостійкість, вільний пролін.

Физиолого-биохимические показатели проростков пшениц *Triticum aestivum* L. и *Triticum spelta* L. при моделировании водного дефицита
О.В. Борисова, О.Н. Ружицкая

Была проведена сравнительная характеристика ростовой реакции проростков семян *Triticum spelta* L. (var. *duhamelianum*) и *Triticum aestivum* L. (сорт Селянка, сорт Куяльник) в условиях моделирования водного дефицита. Водный стресс был смоделирован в результате проращивания семян на растворах неионогенного полимера полиэтиленгликоля 6000 (ПЭГ 6000) с осмотическим потенциалом от -0,25 МПа до -1,25 МПа. Проростки, сформированные семенами в условиях водного стресса, оценивали по их морфометрическим параметрам и содержанию свободного пролина, как маркера стрессовых реакций. Установлено, что проращивание семян обоих видов в указанных условиях замедленного водообеспечения не вызывало, по сравнению с контролем, достоверного снижения их всхожести, однако, приводило к существенному уменьшению показателей роста проростков и увеличению в них концентрации свободного пролина. Проростки спельты в условиях водного дефицита характеризовались менее существенным уменьшением, по сравнению с контрольными условиями, длины и сырой массы корней и большим содержанием в них свободного пролина, чем проростки мягкой пшеницы исследуемых сортов. Показано, что в созданных условиях водного дефицита, по характеристикам всхожести семян, морфометрическим показателям побегов и корней проростков, семена образцов спельты не уступали семенам мягкой пшеницы засухоустойчивых сортов. Обговариваются возможные механизмы, которые задействованы в формировании устойчивости проростков спельты к условиям водного дефицита.

Ключевые слова: *Triticum spelta* L., *Triticum aestivum* L., водный стресс, осмотически активные соединения, засухоустойчивость, свободный пролин.

Physiological and biochemical parameters of *Triticum aestivum* L. and *Triticum spelta* L. wheats under water deficit modeling

O.V. Borysova, O.M. Ruzhitska

Comparative description of the seedlings growth response of *Triticum spelta* L. (var. *duhamelianum*) seeds and *Triticum aestivum* L. (Selyanka cultivar, Kuyalnyk cultivar) under water stress modeling was performed. Water stress was modeled by germinating seeds in solutions of nonionic polymer polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) with osmotic potential from -0.25 MPa to -1.25 MPa. Seedlings formed under conditions of water stress were evaluated for their morphometric parameters and content of free proline as a marker of stress response. It was established that the germination of seeds from both species under conditions of slow water supply didn't lead to statistically significant decreasing of germination potential parameters, but led to a significant decline in the growth of seedlings and to increasing of free proline concentration in seedlings. Spelt seedlings under conditions of water stress were characterized by less significantly reducing of length and wet weight of roots (compared to the control), and higher free proline content compared to winter wheat seedlings from tested cultivars. It was shown that seed germinability, morphometrical parameters of roots and seedlings for tested spelt landraces wasn't lower compared to same parameters obtained for winter wheat seedlings.

Key words: *Triticum spelta* L., *Triticum aestivum* L., water stress, osmotically active compounds, drought tolerance, free proline.

Вступ

Дефіцит води вважається одним з найбільш важливих абіотичних стресових чинників і основною перешкодою збільшення продуктивності рослин. Втрати врожаю через брак води, ймовірно, перевищують втрати від всіх інших факторів разом узятих (Rampino, 2006). Цей дефіцит має очевидний вплив на процеси росту і розвитку рослин, а ступінь цього впливу залежить як від сили, так і від тривалості впливу стресового чиннику (Agaus et al., 2002). Толерантність до дефіциту води обумовлена рядом фізико-біохімічних процесів як на клітинному рівні, так і на рівні цілого організму, що активуються на різних етапах розвитку рослин. Механізми, що зменшують втрати води рослиною включають: збільшення опору продигового апарату, збільшення поглинання води за рахунок розвинення глибокої кореневої системи і накопичення осмотично-активних сполук. Головні осмотично-активні сполуки, що накопичуються рослиною, є амінокислоти, такі як глутамат, пролін, гліцин-бетаїн і цукри (маніт, сорбіт і трегалоза). Ці сполуки відіграють ключову роль у запобіганні дезінтеграції мембран та інактивації ферментів (Mahajan, Tuteja, 2005). Пролін є інертним сумісним осмолітом, що чинить осмо- і мембранопротекторну дію, пряму антиоксидантну дію тощо (Колупаєв із співавт., 2014).

Останнім часом у країнах Європи збільшується інтерес до пророщування півчастих пшениць, що обумовлено їхньою високою харчовою цінністю, можливістю пророщування без використання пестицидів та регуляторів росту, тощо, та як генетичний ресурс для селекції рослин (Smolkova et al., 1998; Jorgensen, 1997). Найбільші площі вирощування серед півчастих пшениць у нинішній час займає спельта (*Triticum spelta* L.). Спельта є гексаплоїдом, генетично гомологічна до м'якої пшениці. Спельта культивується у Польщі, Іспанії, Німеччині, Болгарії та інших країнах Європи не лише завдяки своїй високій харчовій цінності, а й завдяки високій стійкості до несприятливих чинників оточуючого середовища, зокрема низької родючості ґрунту та підвищеної вологості. Однак дані щодо стійкості спельти до посухи та недостатнього зволоження є поодинокими. В той же час, регіони України, площі яких зайняті під пророщування зернових культур, страждають від посухи, зокрема Південь України.

В зв'язку з цим вивчення зразків національних колекцій спельти з метою характеристики можливості проростання насіння, росту й розвитку проростків за умов водного дефіциту та розкриття механізмів стійкості до стресу є актуальною задачею. Метою нашої роботи було вивчення проростання насіння, вмісту вільного проліну та морфометричних показників проростків спельти (*Triticum spelta* L.) за моделювання водного дефіциту, а також порівняння визначених показників із такими м'якої пшениці (*Triticum aestivum* L.).

Методика

У дослідженнях використовували рослини гексаплоїдної озимої півчастої пшениці спельти (*T. spelta* L. var. *duhamelianum*). Насіння для пророщування рослин спельти отримане із колекції Національного центру генетичних ресурсів рослин України Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН України. Для порівняльної оцінки біологічних властивостей та морфо-біометричних показників спельти використовували також рослини озимої м'якої пшениці (*T. aestivum* L.) двох сучасних

високоврожайних сортів Селянка та Куяльник. Сорт Селянка селекції СГІ НЦНС НААНУ внесений до Реєстру сортів рослин України та є одним із найбільш придатних сортів для вирощування продовольчого зерна високої якості в степовій зоні, характеризується високою посухостійкістю (8-9 балів). Сорт Куяльник селекції СГІ НЦНС НААНУ, відноситься до сильних сортів, внесений до реєстру сортів з 2003 року, посухостійкість 7 балів.

Для моделювання водного дефіциту використовували розчини нейоногенного високомолекулярного полімеру поліетиленгліколю 6000 (ПЕГ 6000) різних концентрацій: із осмотичним потенціалом -0,25 МПа, -0,75 МПа, -1,25 МПа. Пророщування насіння спельти та м'якої пшениці за умов водного дефіциту проводили за наступними варіантами.

Для вивчення впливу тривалої дії водного дефіциту на проростання насіння та фізіолого-біохімічні показники проростків, насіння спельти та м'якої пшениці пророщували протягом 7 діб у чашках Петрі в розчинах ПЕГ 6000 різних концентрацій або дистильованій воді (контроль), а потім визначали його схожість, біометричні параметри проростків, коефіцієнт пригнічення росту проростків (коефіцієнт депресії), а також вміст вільного проліну в проростках.

Для вивчення більш короткотривалої дії стресового чинника на вміст проліну в проростках, пророщували насіння спельти та м'якої пшениці протягом 6 діб на дистильованій воді, потім дослідне насіння переносили у розчин ПЕГ 6000 з осмотичним потенціалом -0,75 МПа на 1 добу, а контрольне залишали в дистильованій воді. Після 7 діб пророщування проводили визначення вільного проліну у контрольних та дослідних проростків.

Вміст вільного проліну визначали у коренях та пагонах 7-ми добових проростків за методикою Бейтса (Bates, 1973) та виражали у мкг проліну на 1 г сирової речовини. Коефіцієнт депресії визначали як ступінь зниження параметру по відношенню до контролю, виражений у відсотках. Вміст вологи визначали ваговим методом та виражали у відсотках.

У таблицях представлені середні арифметичні та їх стандартні похибки. За визначеними фізіолого-біохімічними показниками проростки насіння обох сортів пшениці не мали достовірних відмінностей, тож у таблицях наведені середні значення показників за двома сортами м'якої пшениці. Для оцінки статистичної достовірності відмінностей використовували критерій Стьюдента (Лакін, 1990). Розрахунки проводили, використовуючи стандартний пакет програм Microsoft Excel 2007.

Результати та обговорення

Ефект нестачі води на рослину залежить від онтогенетичної фази розвитку рослини і тривалості дії стресового фактору (Svobodova, Miša, 2004). Визначення можливості проростання насіння та характеристик початкового росту проростків за умов водного дефіциту є необхідним для оцінки стійкості виду чи сорту до стресових умов, адже проростання відбувається на поверхні ґрунту, де накопичуються солі та капілярна вода є менш доступною. Тобто насіння і молоді проростки часто потерпають від більшої концентрації солей та нестачі води.

Існує чимало методів вимірювання стійкості рослин до нестачі води. У цих методах використовуються різноманітні параметри оцінки стійкості рослини до водного стресу (Rampino et al., 2006). Водний стрес може пригнічувати проростання насіння шляхом уповільнення надходження в нього води, впливаючи на мобілізацію поживних резервів насінини чи безпосередньо впливаючи на структурну організацію чи синтез білків зародком, що проростає. Обраний нами для моделювання водного стресу ПЕГ 6000 є нейоногенним високомолекулярним полімером. Було показано (Almansouri et al., 2001), що ПЕГ 6000 не чинить інгібуючого ефекту та не впливає на мобілізацію поживних речовин. Тож його дія пов'язується лише із гальмуванням надходження води у насінину.

Нами було проведено визначення посівних якостей насіння за умов моделювання водного стресу за допомогою ПЕГ 6000, визначення біоморфологічних параметрів проростків за різних умов пророщування та визначення концентрації вільного проліну за умов впливу ПЕГ 6000 різної тривалості.

Визначення посівних якостей насіння за умов водного дефіциту вважається простим та чутливим параметром, що дає уяву про стійкість насіння до проростання за стресових умов (Almansouri et al., 2001).

Результати визначення посівних якостей насіння спельти та м'якої пшениці за пророщування в умовах уповільненого надходження води на розчинах ПЕГ 6000 із різним осмотичним тиском наведені у таблиці 1.

Таблиця 1.

Посівні якості насіння *Triticum aestivum* L. та *Triticum spelta* L. за пророщування на розчинах ПЕГ 6000 із різним осмотичним потенціалом

Варіант пророщування	Вид	Енергія проростання, %	Схожість, %
Контроль	<i>T. aestivum</i> L.	82±4	90±4
	<i>T. spelta</i> L.	80±2	87±4
ПЕГ -0,25 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	92±2*	96±2
	<i>T. spelta</i> L.	87±2*	94±2
ПЕГ -0,75 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	81±2	81±2
	<i>T. spelta</i> L.	87±4	87±4
ПЕГ -1,25 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	90±4	88±4
	<i>T. spelta</i> L.	79±2	79±4

Примітка: * – різниця достовірна у порівнянні із контролем за $p < 0,05$.

Згідно отриманих результатів, пророщування насіння як спельти, так і м'якої пшениці на розчинах осмотично-активної речовини ПЕГ 6000 не призводило до достовірного зниження енергії проростання та схожості дослідного насіння у порівнянні із контролем (дистильована вода). За пророщування насіння обох видів пшениці на ПЕГ 6000 із осмотичним потенціалом в -0,25 МПа відмічалось навіть збільшення на 10% енергії проростання, що може пояснюватись тим, що незначне уповільнення надходження води під час набубнявіння, порівняно з дистильованою водою, захищає мембрани клітин від пошкоджень, які можуть виникати при швидкому надходженні води в сухе насіння. (Веселова с соавт, 2003). Тобто, згідно з нашими даними, пророщування насіння спельти та насіння м'якої пшениці дослідних сортів за умов уповільненого надходження води, змодельованого за допомогою розчинів ПЕГ 6000 із осмотичним потенціалом від -0,25 МПа до -1,25 МПа, не перешкоджає проростанню насіння.

Визначення морфометричних параметрів проростків дозволяє провести аналіз впливу уповільненого надходження води на рівні тканин проростків.

Згідно з отриманими результатами, на 7-му добу пророщування за контрольних умов насіння спельти відрізнялось більшою довжиною та масою надземної частини, кількістю та масою коренів проростку, але меншою їхньою довжиною порівняно із сортами м'якої пшениці (табл. 2, 3, 4).

Таблиця 2.

Довжина проростків *Triticum aestivum* L. та *Triticum spelta* L. за умов пророщування насіння на розчинах ПЕГ 6000 із різним осмотичним потенціалом, см

Варіант пророщування	Вид	Довжина пагону, см	Коефіцієнт депресії довжини пагонів, %	Довжина коренів, см	Коефіцієнт депресії довжини коренів, %	Кількість коренів, шт
Контроль	<i>T. aestivum</i> L.	10,3±1,0	-	31,2±2,5	-	3,1±0,1
	<i>T. spelta</i> L.	14,6±2,7	-	25,9±4,0	-	3,8±0,1
ПЕГ -0,25 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	6,1±0,9*	41	23,3±2,0*	25	3,6±0,1*
	<i>T. spelta</i> L.	7,8±2,0*	47	25,0±4,2	3	4,4±0,2*
ПЕГ -0,75 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	4,6±0,8*	55	13,7±1,5*	56	3,9±0,3*
	<i>T. spelta</i> L.	6,1±1,2*	58	18,0±1,5*	31	4,0±0,2*
ПЕГ -1,25 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	1,7±0,5*	83	6,6±0,5*	79	2,9±0,2
	<i>T. spelta</i> L.	2,6±0,9*	82	13,6±1,7*	47	3,5±0,3

Примітка: * – різниця достовірна у порівнянні із контролем за $p < 0,05$.

Таблиця 2.
Ріст проростків *Triticum aestivum* L. та *Triticum spelta* L. за умов пророщування насіння на розчинах ПЕГ 6000 із різним осмотичним потенціалом

Варіант пророщування	Вид	Довжина пагону, см	Коефіцієнт депресії довжини пагонів, %	Довжина коренів, см	Коефіцієнт депресії довжини коренів, %	Кількість коренів, шт
Контроль	<i>T. aestivum</i> L.	10,3±1,0	-	31,2±2,5	-	3,1±0,1
	<i>T. spelta</i> L.	14,6±2,7	-	25,9±4,0	-	3,8±0,1
ПЕГ -0,25 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	6,1±0,9*	41	23,3±2,0*	25	3,6±0,1*
	<i>T. spelta</i> L.	7,8±2,0*	47	25,0±4,2	3	4,4±0,2*
ПЕГ -0,75 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	4,6±0,8*	55	13,7±1,5*	56	3,9±0,3*
	<i>T. spelta</i> L.	6,1±1,2*	58	18,0±1,5*	31	4,0±0,2*
ПЕГ -1,25 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	1,7±0,5*	83	6,6±0,5*	79	2,9±0,2
	<i>T. spelta</i> L.	2,6±0,9*	82	13,6±1,7*	47	3,5±0,3

Примітка: * – різниця достовірна у порівнянні із контролем за $p < 0,05$.

Вимірювання біометричних показників проростків насіння показало зниження, порівняно з контролем, довжини і маси проростків обох досліджуваних видів пшениці.

Ступінь зменшення довжини і маси пагонів проростків зростала із збільшенням осмотичного потенціалу середовища пророщування

Найбільше пригнічення ростових параметрів пагонів м'якої пшениці та пшениці спельти спостерігали за пророщування насіння у розчині ПЕГ 6000 із найбільшим осмотичним потенціалом -1,25 МПа. Так, довжина пагонів була меншою на 82% у порівнянні із контролем, а їхня маса - на 80% меншою, у порівнянні з контролем, без достовірної різниці за коефіцієнтами депресії між обома видами пшениці (табл. 3).

Таблиця 3.
Накопичення біомаси надземною частиною проростків *Triticum aestivum* L. та *Triticum spelta* L. за умов пророщування насіння на розчинах ПЕГ 6000 із різним осмотичним потенціалом

Варіант пророщування	Вид	Маса сирової речовини пагона, мг	Коефіцієнт депресії маси пагона, %	Маса сухої речовини пагона, мг	Коефіцієнт депресії маси пагона, %	Вміст вологи, %
Контроль	<i>T. aestivum</i> L.	65±4	0	7,6±0,6	0	88
	<i>T. spelta</i> L.	87±7	0	10,4±0,8	0	88
ПЕГ -0,25 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	30±3*	54	5,6±0,6*	26	81
	<i>T. spelta</i> L.	37±3*	57	7,2±0,4*	31	81
ПЕГ -0,75 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	27±4*	58	3,5±0,3*	54	87
	<i>T. spelta</i> L.	28±9*	68	5,2±0,4*	50	81
ПЕГ -1,25 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	11±3*	83	2,5±0,5*	67	77
	<i>T. spelta</i> L.	19±6*	78	4,3±0,7*	59	77

Примітка: * – різниця достовірна у порівнянні із контролем за $p < 0,05$.

Довжина та маса сирової речовини коренів за пророщування на розчинах ПЕГ у проростків спельти відрізнялась від контролю менш суттєво, у порівнянні із м'якою пшеницею. Довжина коренів проростків спельти зменшилася лише на 47% у порівнянні із контролем за пророщування у ПЕГ -1,25 МПа, тоді як у м'якої пшениці коефіцієнт депресії склав 79%. Пророщування насіння м'якої пшениці та спельти за уповільненого надходження води призвело до зменшення показника сирової маси коренів, що залежав від концентрації розчину ПЕГ. Найменшим показником сирової маси коренів проростки обох видів характеризувалися за пророщування на розчині ПЕГ із осмотичним потенціалом -1,25 МПа (табл. 4). У той же час, за пророщування насіння спельти та м'якої пшениці на розчинах ПЕГ відмічалось збільшення маси сухої речовини коренів та зменшення вмісту в них води порівняно з контролем. Особливості ростової реакції коренів на розчинах ПЕГ 6000 є цілком закономірними, та пов'язані із

ускладненим надходженням води в корінь та пригніченням росту клітин за рахунок розтягнення в розчинах із високим осмотичним тиском. Також, за пророщування насіння на розчинах ПЕГ із осмотичним потенціалом -0,25 МПа та -0,75 МПа у обох видів пшениці відмічалось достовірне збільшення кількості коренів у проростку (табл. 2).

Таблиця 4.

Накопичення біомаси коренів проростків *Triticum aestivum* L. та *Triticum spelta* L. за умов пророщування насіння на розчинах ПЕГ 6000 із різним осмотичним потенціалом

Варіант пророщування	Вид	Маса сирої речовини кореня, мг	Коефіцієнт депресії маси кореня, %	Маса сухої речовини кореня, мг	Коефіцієнт депресії маси кореня, %	Вміст вологи, %
Контроль	<i>T. aestivum</i> L.	32±4	0	3,7±0,6	0	88±2
	<i>T. spelta</i> L.	40±8	0	5,1±0,6	0	87±2
ПЕГ -0,25 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	29±6	10	6,9±0,8*	-86	76±3*
	<i>T. spelta</i> L.	34±5	15	9,3±0,3*	-82	73±3*
ПЕГ -0,75 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	21±4	35	5,5±0,4	-48	74±2*
	<i>T. spelta</i> L.	28±8	30	7,0±0,7	-37	75±2*
ПЕГ -1,25 МПа	<i>T. aestivum</i> L.	19±5	41	4,0±0,5	-8	79±2*
	<i>T. spelta</i> L.	26±8	35	5,6±0,9*	-9	79±2*

Відносний вміст вологи у проростках спельти та м'якої пшениці не мав достовірних відмінностей.

Тож, згідно отриманих нами результатів, проростки насіння спельти не характеризувались більшим зниженням біометричних параметрів проростків за умов уповільненого водозабезпечення порівняно із проростками м'якої пшениці посухостійких сортів. Показник зниження довжини пагону для проростків спельти та м'якої пшениці не мав достовірних відмінностей, а показники довжини та сирої маси коренів проростків спельти за пророщування на розчинах ПЕГ 6000 характеризувались навіть меншим коефіцієнтом депресії, порівняно із проростками м'якої пшениці. Це може свідчити про стійкість рослин спельти на рівні тканин проростків до умов уповільненого надходження води на розчинах ПЕГ 6000.

Молекулярні механізми стійкості рослин до умов недостатнього водозабезпечення є важливою ланкою формування адаптивного потенціалу рослини. Пролін (про, рго, Р) це гетероциклічна амінокислота, вміст якої збільшується у багато разів за дії стресових чинників. Накопичення проліну допомагає рослинам адаптуватись до несприятливих умов, захищаючи від інактивації білків, ДНК та ферментів. Суттєве збільшення вмісту проліну у тканинах рослин за дії стресових чинників привертає увагу дослідників у зв'язку із можливістю використання цього показника як біохімічного маркера захисних реакцій рослини (Невмержицкая, Тимофеева, 2012). Акумуляція проліну за дії стресових чинників є індикатором відповіді на стрес на клітинному рівні. Вважається, що пролін приймає участь у стабілізації клітинних мембран (Kocheva et al., 2003) чи може бути резервом азоту, здатного до мобілізації (Hare, Cress, 1998).

Таким чином, вміст вільного проліну за дії стресового чиннику може слугувати характеристикою чутливості чи стійкості певного генотипу.

Результати визначення вмісту вільного проліну у проростках спельти та м'якої пшениці за умов уповільнення надходження у нього води у розчині ПЕГ 6000 з ОП -0,75 МПа наведені на рис. 1. Як видно з рисунку, пророщування насіння у розчині ПЕГ 6000 призводило до збільшення концентрації вільного проліну у проростках обох видів пшениці (рис. 1).

Згідно з отриманими даними, за контрольних умов, корені проростків, як м'якої пшениці, так і спельти, характеризувались більшим вмістом проліну, ніж пагони. Водночас, в контролі, у проростків м'якої пшениці виявлений більший, ніж у спельти, вміст проліну в пагонах і коренях на 47% на 20% відповідно. Проростки спельти характеризувалися більш значним збільшенням концентрації вільного проліну, як в пагонах так і в коренях, у порівнянні із проростками м'якої пшениці. У проростках спельти збільшення вмісту вільного проліну корелювало із збільшенням тривалості водного стресу, створеного за допомогою ПЕГ 6000, при цьому вміст проліну збільшувався у більшій мірі в коренях, ніж у пагонах проростків. Проростки м'якої пшениці характеризувалися меншим зростанням концентрації вільного проліну. Концентрація вільного проліну в коренях була більшою від такої у пагонах у проростках обох

видів пшениці. У проростків насіння м'якої пшениці не спостерігалось кореляції між збільшенням вмісту вільного проліну і тривалістю впливу водного стресу. Найбільший вміст вільного проліну у проростках насіння спостерігався за впливу уповільнення надходження води протягом 25 годин, тоді як за дії ПЕГ 6000 протягом 7 діб спостерігалось зниження вмісту вільного проліну.

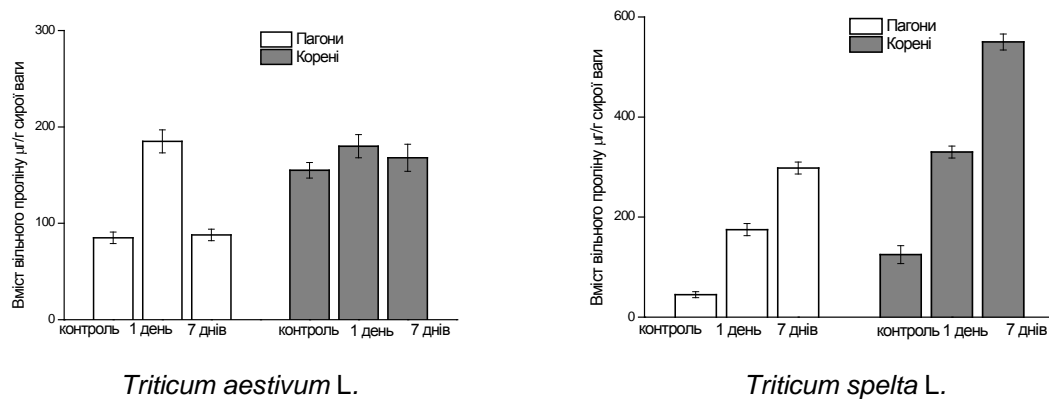


Рис. 1. Вміст вільного проліну у 7-добових проростках *Triticum aestivum* L. та *Triticum spelta* L. за умов водного дефіциту різної тривалості, змодельованого за допомогою ПЕГ 6000 (ОП -0,75 МПа)

Слід відмітити, що дані щодо ролі акумуляції вільного проліну і стійкості рослин до водного стресу є досить суперечливими (Колупаєв із співавт., 2014). Так, досі не з'ясовано чи є підвищення концентрації вільного проліну маркером підвищеної посухостійкості (de Ronde et al., 2000, Rampino et al., 2006, Nauyar, Walia, 2003). Так, в роботі Rampino et al. чутливі до посухи генотипи акумулювали більше вільного проліну порівняно із стійкими. Але автори пов'язують це із низьким відносним вмістом вологи у пагонах цих рослин. Згідно наших даних, вміст вологи у проростках спельти і м'якої пшениці не мав достовірних відмінностей, тож більший вміст вільного проліну у проростках спельти не міг бути пов'язаний із зниженням відносного вмісту вологи. В той же час Ronde et al. вважають, що раптова акумуляція вільного проліну у рослинних клітинах за водного стресу є адаптацією та може слугувати маркером витривалості рослин до умов нестачі води.

Аналіз посівних якостей, морфометричних характеристик проростків та акумулювання в тканинах проростків спельти та м'якої пшениці вільного проліну за умов водного стресу різної тривалості, змодельованого ПЕГ 6000 з ОП -0,75 МПа, свідчить про те, що стійкість насіння спельти до проростання, формування нормальних проростків та їхнього росту в умовах уповільненого надходження води не є нижчою від м'якої пшениці дослідних сортів. Це має велике практичне значення для пророщування спельти у регіонах із недостатнім водозабезпеченням. Механізми стійкості спельти ще підлягають подальшому вивченню. Очевидно, що адаптація до умов недостатнього водозабезпечення відбувається як завдяки морфологічним адаптаціям (збільшення кількості коренів), так і на біохімічному рівні (підвищення рівня вільного проліну).

Список літератури

- Веселова Т.В., Веселовский В.А., Усманов П.Д. Гипоксия и повреждения при набухании стареющих семян // Физиология растений. – 2003. – Т. 50, №6. – С. 930-937. / Veselova T.V., Veselovskiy V.A., Usmanov P. D. Gipoksiya i povrezhdeniya pri nabuhanii stareyuschih semyan // Fiziologiya rasteniy. – 2003. – Т. 50, №6. – Р. 930-937.
- Колупаєв Ю.Е., Вайнер А.А., Ястреб Т.О. Пролін: Физиологические функции и регуляция содержания в растениях в стрессовых условиях // Вісник харківського національного аграрного університету Серія Біологія. – 2014. – Вип 2 (32). – С. 6-22. / Kolupaev Y. E., Vayner A.A., Yastreb T.O. Prolin: Phisiologicheskie funktsii i regulyatsiya sodержania v rasteniyah v stressovih usloviyah // Visnyk kharkivskogo natsionalnogo universitetu Seriza Biologiya. – 2014. – Вип. 2 (32). – Р. 6-22.
- Лакин Г.Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с. / Lakin G.F. Biometriya. – M. Vyssh. Sk., 1990. – 352 p.
- Невмержицкая Ю.Ю., Тимофеева О.А. Практикум по физиологии и биохимии растений (белки и ферменты): Учебно-методическое пособие / Ю.Ю. Невмержицкая, О.А. Тимофеева. – Казань: Казанский университет, 2012. – 36 с. / Nevmerzhitskaya Y.Y., Timopheeva O.A. Prakticum po fisiologii i biochimii rasteniy

(belki I fermenty): Uchebno-metodicheskoe posobiye / Y.Y. Nevmerzhietskaya, O. A. Timopheeva. – Kazan': Kazanskiy universitet, 2012. – 36 p.

Almansouri M., Kinet JM, Lutts S. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* desf.) // Plant and Soil. – 2001. – Vol.231: – P. 243–254.

Araus J.L., Slafer G.A., Reynolds M.P. & Royo C. Plantbreeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? // Annals of Botany. – 2002. Vol. 89. P. – 925–940.

Bates L.E., Waldren R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water stress studies // J. Plant Soil. – 1973. Vol. 39: – P. 205-207.

Hare P.D. & Cress W.A. (1997) Metabolic implications of stressinduced proline accumulation in plants // Plant Growth Regulation. – 1997. – Vol. 21. – P. 79–102.

Jorgensen J.R. Yield and quality assessment of spelt (*Triticum spelta* L.) compared with winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in Denmark. In: Spelt and Quina // Working Group Meeting. - Wageningen, the Netherlands. – 1997. – P. 33-38

Kocheva K., Georgiev G. Evaluation of the reaction of two contrasting barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in response to osmotic stress with PEG 6000 // Bulg. J. Plant Physiology. – 2003. – Special Issue. – P. 290–294.

Mahajan S. & Tuteja N. Cold, salinity and drought stresses:an overview // Archives of Biochemistry and Biophysics. – 2005. – Vol. 444. – P. 139–158.

Nayyar H. & Walia D.P. Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected by calcium and abscisic acid // J. Biologia Plantarum. – 2003. – Vol. 46. – P. 275–279.

Rampino P., Pataleo S., Gerardi C., Mita G. & Perrotta C. Drought response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes // J. Plant, Cell & Environment. – 2006. – Vol 29. – P. 2143–2152.

de Ronde J.A., Spreeth M.H. & Cress W.A. Effect of antisense L- Δ 1-pyrroline-5-carboxylate reductase transgenic soybean plants subjected to osmotic and drought stress // Plant Growth Regulation. – 2000. – Vol 32. – P. 13–26.

Smolková H., Gálová Z., Grecová E. Winter spelt wheat (*Triticum spelta* L.) grain proteins genetic markers // J. Chemical papers. – 1998. – Vol. 52: – P. 52–53.

Svobodová I., Míša P. Effect of drought stress on the formation of yield elements in spring barley and the potential of stress expression reduction by foliar application of fertilizers and growth stimulator // J. Plant Soil Environ. – 2004. – Vol. 50 – P. 439–446.

Представлено: П.О. Феоктістов / Presented by: P.O. Feoktistov

Рецензент: О.О. Авксентьєва / Reviewer: O.O. Avksentyeva

Подано до редакції / Received: 10.11.2014