

УДК 581.1:58.02+58.009

## ВМІСТ РОЗЧИННИХ ЦУКРІВ У РОСЛИНАХ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ПРОТЯГОМ ОСІННЬО-ЗИМОВОГО ПЕРІОДУ

П.С. МАЙОР, Г.Я. КОЗІНА, Л.В. СЛИВКА

*Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України  
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17  
major@ifrg.kiev.ua*

Досліджували динаміку вмісту розчинних цукрів у рослинах 28 генотипів озимої пшениці протягом осінньо-зимового періоду в умовах вегетаційного та дрібно-ділянкового дослідів. Встановлено значну залежність вуглеводного метаболізму в рослинах озимої пшениці від температурного чинника. Водночас між вмістом суми розчинних цукрів та часткою сухої речовини у надземній частині рослин виявлено синфазність змін протягом майже усього часу спостережень, хоча амплітудні характеристики змін цих двох показників різнилися.

*Ключові слова:* *Triticum aestivum* L., зимівля, низькі температури, морозостійкість, цукри.

Морозостійкість пов'язана зі здатністю рослин, зокрема озимих злаків, витримувати тривалу дію мінусових температур у стані припинення росту і глибокого спокою [4, 6, 8]. Стійкості до дії низьких температур рослини набувають у результаті адаптації до холоду (загартування), що визначається комплексом як специфічних, так і неспецифічних структурних, фізіолого-біохімічних та молекулярно-генетичних змін [4, 6, 8, 10–12, 14]. Численні дослідження, втім числі виконані впродовж останніх років, засвідчують, що перебудови обміну речовин значно складніші, ніж це очікувалось, і відбуваються із залученням таких метаболічних шляхів, які раніше не пов'язували із загартуванням до холоду [10].

Стійкість рослин за низьких температур залежить від збалансованості основних ланок метаболізму, а надто — від характеру обміну вуглецю, який є визначальним за перепрограмування загального метаболізму клітини при знижених температурах [6, 8–11]. Однією з адаптивних реакцій рослин на дію холоду є збільшення вмісту в клітинах водорозчинних вуглеводів — сахарози, глюкози, фруктози, рафінози та інших сполук [6, 9, 14, 15]. Значення цукрів як головних захисних речовин у розвитку стійкості озимих злаків до морозу безсумнівне. Упродовж останніх років широко досліджують питання щодо ролі цукрів, особливо сахарози — однієї з основних форм розчинних цукрів у рослинах як сигнальних молекул та їх вплив на експресію генів і процеси розвитку [9, 13].

Розчинні цукри і пролін — сумісні осмотично активні сполуки, які відіграють важливу роль у забезпеченні структурної та функціональної стабільності клітин за умов втрати ними води [4].

Метою роботи було дослідити динаміку вмісту розчинних цукрів у надземній частині рослин озимої пшениці протягом осінньо-зимового періоду у вегетаційних та дрібноділянкових експериментах, проведених у 2006/7—2008/9 рр.

### Методика

Об'єктами дослідження були 28 сортів озимої м'якої пшениці, що різняться за морозостійкістю: Альбатрос одеський, Безоста 1, Донська напівкарликова, Експромт, Зимоярка, Золотоколоса, Київська 7, Колумбія, Крижинка, Миронівська 808, Пивна, Подолянка, УК 324, УК 364, УК 384, Фаворитка, Хуртовина, Циганка, Ятрань 60, Roughrider, Pitko (перелічені за алфавітом) та 7 ліній, отриманих з вихідного фінського сорту Pitko: Pitko in vitro, Нур 90 F6, Нур 90/2, Нур 110 G, Нур 110/2, Нур 329/2, Нур 90 D3. Рослини вирощували на сірому лісовому супіщаному ґрунті у посудинах Вагнера (вегетаційний експеримент) та на дослідних ділянках, які знаходяться на території ІФРГ НАН України (дрібноділянковий експеримент). Детальніше досліджувані генотипи та умови вирощування рослин описано у попередній публікації [3].

Протягом періоду загартування і перезимівлі впродовж трьох вегетаційних сезонів 2006/7—2008/9 рр. приблизно раз на тиждень з кінця жовтня до початку березня відбирали надземну частину рослин. Другий листок використовували для визначення вмісту проліну (як це описано раніше [3]), у решті рослинного матеріалу визначали сумарний вміст розчинних редукуючих цукрів (альдоз і кетоз) після кислотного гідролізу. У 2006/7 р. цей показник визначали у сирому рослинному матеріалі з мідно-лужним реактивом за Починком [5]. Інші дані про сумарний вміст моно- і дицукрів отримано методом фотометрії з використанням пікринової кислоти [1]. Із розтертої у ступці наважки зразків, висушених у сушильній шафі (за 105 °С), цукри екстрагували водою на водяній бані (10 хв за 100 °С). Концентрацію суми цукрів після кислотного гідролізу (3,3 % НСІ) визначали колориметрично при 490 нм за калібрувальною кривою, побудованою з використанням шкали стандартних розчинів глюкози [1] або гідролізованої сахарози.

Вміст сухої речовини у рослинному матеріалі обчислювали ваговим методом.

Відомості про зміни температурного чинника протягом року отримували з інтернет-сайта Gismeteo (архів погодних даних для м. Києва <http://gismeteo.ua/synarc.htm>).

Аналіз та статистичну обробку експериментальних даних проводили на комп'ютері з використанням програми Microsoft Excel.

### Результати та обговорення

На рисунках наведено середні значення досліджуваних показників (вмісту розчинних цукрів та частки сухої речовини) у рослинах озимої пшениці. Дані обох експериментів (вегетаційного та дрібноділянкового) розраховано для усієї групи досліджуваних сортів кожного відбору (що відповідає окремій точці у часі). Графічне зображення масиву усереднених даних ілюструє динаміку відповідних показників рослин озимої пшениці у відповідь на зміни температурного чинника (рис. 1—3). Іншими чинниками, що впливають на зміни вмісту цукрів у рослинах, є рівень

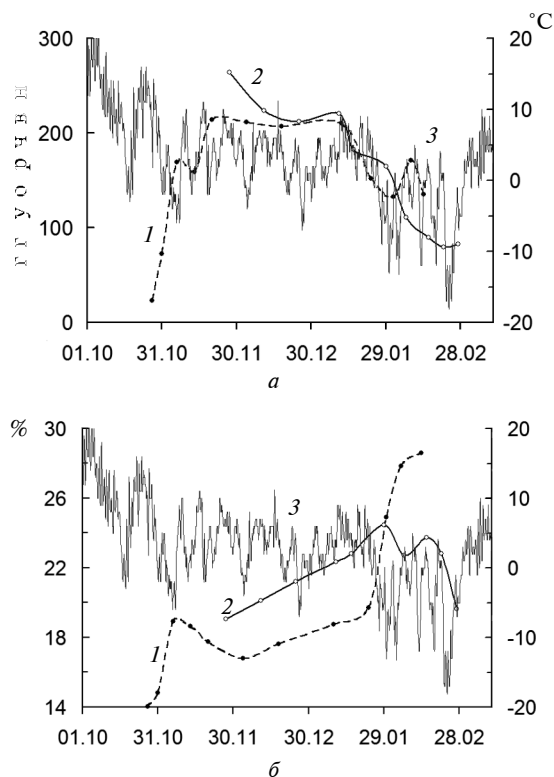


Рис. 1. Динаміка вмісту суми розчинних цукрів (*а*, мг/г сухої речовини) та частки сухої речовини (*б*, %) у надземній частині рослини озимої пшениці у 2006/7 р. Тут і на рис. 2, 3:

1 — вегетаційний експеримент; 2 — дрібноділянковий експеримент; 3 — температура (права вісь ординат)

явища була розкрита завдяки роботам Туманова та його школи [8]. Встановлено, що процес загартування відбувається у дві фази. Перша фаза загартування відбувається на світлі за знижених плюсових температур (удень до 10 °С, уночі понад 0 °С) і помірної вологості. За таких умов ростові процеси у рослинах сповільнюються й навіть повністю припиняються, водночас відбуваються перебудови обміну речовин. Особливе значення в розвитку стійкості рослин до морозу на першій фазі загартування має нагромадження глюкози, фруктози, сахарози й інших олігоцукрів [6, 8]. Утворення вуглеводів у процесі фотосинтезу доволі інтенсивне, проте витрати їх на дихання та ріст за умов зниженої температури зменшуються.

Друга фаза загартування розпочинається за нижчих температур (на кілька градусів нижче від 0 °С) [6, 8, 11] і не потребує світла, тому може відбуватися у рослинах, що перебувають під сніговим покривом. Під час другої фази триває відтік з клітин більшої частини води, яка може замерзнути, у міжклітинний простір. Водотримувальна здатність вуглеводів та інших осмотично активних сполук (у тім числі проліну), які накопичилися під час першої фази, сприяє збереженню частини води у цитоплазмі. Крім того, цукри, низькомолекулярні білки та інші речовини виконують захисну функцію стосовно мембран та біолоїдів клітин. Цікаво, що навіть за мінусових температур (–3...–9 °С) у рослинах пше-

освітлення та наявність і висота снігового покриву (для рослин дрібноділянкового експерименту).

Вміст розчинних цукрів у цій роботі наведено у розрахунку на суху речовину. Графічне зображення результатів вмісту досліджуваних сполук у перерахунку на масу сирової речовини свідчить про значну подібність динаміки цього показника до наведених на рис. 1, *а* — 3, *а*. Основна відмінність між двома варіантами розрахунку полягає у різному порядку отриманих величин та дещо різній амплітуді їхніх змін.

Відомо, що морозостійкість рослин, зокрема озимих злаків, формується на певних етапах їхнього онтогенезу за умов сповільнення темпів росту і переходу рослин у стан спокою. Морозостійкість значно підвищується внаслідок загартування до мінусових температур. Фізіологічна природа цього

ниці можуть відбуватись перетворення вуглеводів — зростає кількість фруктози і сахарози, а вміст олігоцукрів зменшується [7].

Як показали наші дослідження, значне збільшення вмісту цукрів у рослинах озимої пшениці спостерігалось за тривалого зниження середньодобової температури повітря до позначок нижче від  $+5...8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що є температурним порогом для перебігу першої фази загартування. У 2006 і 2007 рр. такі умови склались наприкінці жовтня (рис. 1, 2). Осінь 2008 р. виявилась теплішою, і суттєве накопичення цукрів у рослинах розпочалось дещо пізніше — у першій половині листопада (рис. 3).

При аналізі отриманих результатів привертає увагу різний характер динаміки вмісту розчинних вуглеводів та частки сухої речовини у рослинах озимої пшениці в експериментах 2006/7 та 2007/8 і 2008/9 рр. Причиною таких відмінностей може бути різний температурний режим осінньо-зимового періоду в роки дослідження.

Так, восени 2006 р. умови для тривалого загартування рослин озимої пшениці складались досить сприятливо: середньодобова температура повітря після короткочасного зниження у першій декаді листопада до  $-6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом тривалого часу лише зрідка падала до мінусових значень і не перевищувала  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  аж до березня 2007 р. Внаслідок цього з початком загартування спостерігалось значне зростання вмісту цукрів у рослинах (див. рис. 1). Далі цей показник тривалий час (принаймні до середини січня 2007 р.) залишався майже незмінним, після чого починав зменшуватись монотонно (до кінця лютого — дрібноділянковий експеримент) або з невеликим, у межах  $40\text{ мг/г}$  сухої речовини, коливанням (вегетативний експеримент). Прикметно, що вміст цукрів у рослинах обох експериментів мав однопорядкові величини, суттєві відмінності за цим показником відзначено лише на початку та наприкінці періоду спостережень (див. рис. 1, а). Частка сухої речовини у рослинах обох експериментів зростала протягом усього періоду спостережень (див. рис. 1, б). Початкова втрата води рослинами відбулась у відповідь на дію морозів першого тижня листопада, але з поверненням тепла обводнення листків зросло (вегетативний експеримент). Із початку грудня протягом майже двох місяців тривало монотонне зростання частки сухої речовини у рос-

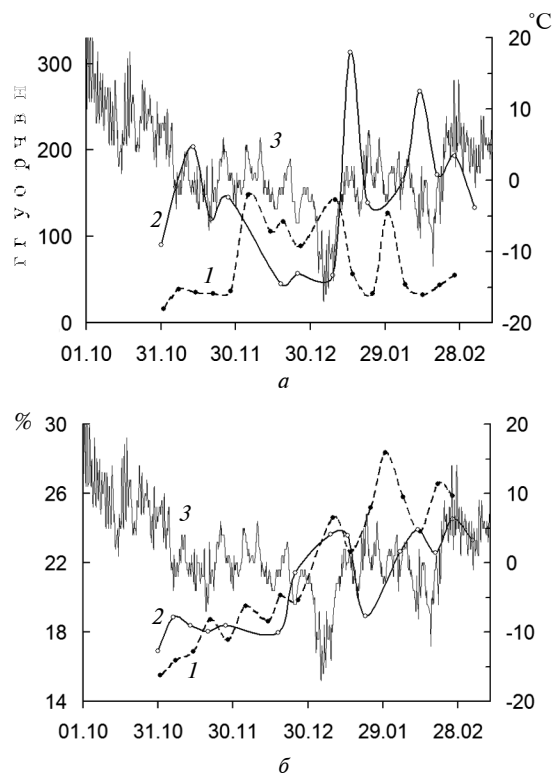


Рис. 2. Динаміка вмісту суми розчинних цукрів (а, мг/г сухої речовини) та частки сухої речовини (б, %) у надземній частині рослин озимої пшениці у 2007/8 р.

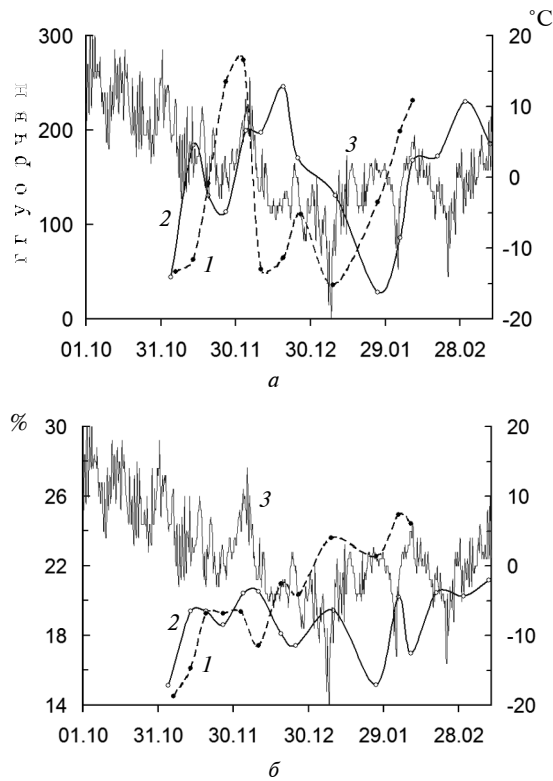


Рис. 3. Динаміка вмісту суми розчинних цукрів (*а*, мг/г сухої речовини) та частки сухої речовини (*б*, %) у надземній частині рослин озимої пшениці у 2008/9 р.

вого (див. рис. 2, *а*). В останньому випадку спостерігалися значні коливання цього показника: після періоду початкового зростання з 13.11.07 відбулося зменшення вмісту цукрів. Цьому передували опади у вигляді дощу та мокрого снігу (10–12.11.07), які згодом змінились снігом (16.11.07). Внаслідок цього вміст води у надземній частині рослин дрібноділянкового експерименту припинив зменшуватись (навіть дещо зріс) і в подальшому тривалий час залишався майже на одному рівні (відповідне значення вмісту сухої речовини становило близько 18 % — див. рис. 2, *б*). Слід зазначити, що вміст сухої речовини в рослинах, які вирощували у відкритому ґрунті, до кінця другої декади листопада перевищував значення цього показника у рослин вегетаційного експерименту. Вірогідно, недостатнє (через брак опадів у жовтні—першій декаді листопада) вологозабезпечення та відповідне сповільнення росту рослин дрібноділянкового експерименту сприяли більшому накопиченню в них розчинних цукрів. Можна думати, що поповнення ґрунтової вологи у другій половині листопада (перевищення норми опадів більш ніж у 1,6 раза) та відносно сприятливі температурні умови до середини грудня 2007 р. спричинили відновлення ростових процесів у рослинах, через що вміст цукрів у них почав зменшуватись і тривалий час був на досить низькому рівні (близько 50 мг/г сухої речовини). З кінця грудня розпочалось похолодання, і частка сухої речовини почала зростати (див. рис. 2, *б*), але вміст цукрів станом на 08.01.08 у перерахунку на суху речови-

линах, і лише у лютому спостерігалася різна динаміка цього показника в обох експериментах. Така відмінність пояснюється підсушуванням морозами рослин вегетаційного дослідження та захистом сніговим покривом у рослин відкритого ґрунту.

Натомість в осінньо-зимовий сезон 2007/8 і 2008/9 рр. був добре виражений коливальний характер змін як частки сухої речовини, так і вмісту розчинних цукрів у рослинах обох експериментів (вегетаційного та дрібноділянкового) (див. рис. 2, 3). Так, у 2007 р. рослини озимої пшениці з кінця жовтня починали накопичувати розчинні цукри, причому їхній вміст у рослинах вегетаційного експерименту впродовж місяця залишався на значно меншому рівні, ніж у рослинах дрібноділянко-

ну залишився майже незмінним (див. рис. 2, *a*), оскільки рослини дрібноділянкового експерименту на цей час знаходилися під невеликим сніговим покривом. Досить значне похолодання на початку 2008 р. викликало додаткову втрату води рослинами обох експериментів, при цьому вміст розчинних цукрів зріс у рослинах вегетаційного дослідження до 143 мг/г сухої речовини. У цей період (з 02 до 09.01.08) середньодобова температура не перевищувала  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тому є підстави вважати, що навіть за таких температур у рослинах триває перетворення цукрів. На користь цього свідчать також дані Трункової [7]. Зростання вмісту цукрів спостерігали й у рослинах, що росли на дослідних ділянках, станом на 15.01.08 — після припинення морозів (див. рис. 2, *a*). Це зростання відбулось на фоні температур, близьких до нульових значень, і виявилось більшим, ніж зазначене (на 09.01.08) для вегетаційного дослідження. Характерно, що в обох випадках після такого збільшення вмісту цукрів у подальшому спостерігали зменшення даного показника. На нашу думку, причиною цього є витрати вуглеводів на забезпечення енергією перебігу у рослинах метаболічних та репараційних процесів після впливу морозів. Однак якщо до початку морозів другої декади лютого 2008 р. рослини дрібноділянкового експерименту накопичили досить значні кількості розчинних цукрів (165—268 мг/г сухої речовини), то рослини вегетаційного експерименту містили набагато менше розчинних вуглеводів (32—44 мг/г сухої речовини). Саме через це частина рослин слабоморозостійких сортів вегетаційного експерименту загинула.

Аналіз даних осінньо-зимового сезону 2008/9 р. також вказує на значні коливання вмісту розчинних цукрів у рослинах озимої пшениці як вегетаційного, так і дрібноділянкового експерименту (див. рис. 3, *a*). В останньому випадку накопичення розчинних вуглеводів розпочалось одразу після зниження температури у перших числах листопада і 13.11.08 їх вміст досяг середнього значення 184 мг/г сухої речовини. Потім цей показник почав зменшуватись і 26.11.08 становив 114 мг/г сухої речовини, хоча температурний режим, здавалося б, був сприятливим для накопичення цукрів, як видно з відповідної кривої, що описує цей процес у рослинах вегетаційного дослідження (див. рис. 3, *a*). Проте напередодні (з 15 по 25.11.08) встановилась хмарна погода і випали опади, частково у вигляді снігу, що обмежило утворення цукрів внаслідок фотосинтезу в рослинах, які росли на дослідній ділянці. Підвищення середньодобової температури в останні дні листопада — в першій декаді грудня (до  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  04—05.11.08) уможливило цей процес, і кількість цукрів у рослинах дрібноділянкового експерименту зросла до 246 мг/г сухої речовини станом на 19.12.08. Однак рослини на вказану дату і надалі знаходилися під сніговим покривом, і вміст розчинних цукрів у них почав зменшуватись. Зазначене підвищення середньодобової температури повітря (04—05.11.08) спричинило зменшення кількості цукрів у рослинах вегетаційного дослідження. Причиною відмінності реакції цього показника на потепління була вища температура повітря у вегетаційному будиночку, де рослини утримували під накриттям з поліетиленової плівки.

Після дії морозів у першій декаді січня (07.01.09 середньодобова температура знизилась до  $-15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) відбулось значне зменшення кількості цукрів у рослинах озимої пшениці: у вегетаційному експерименті мінімум цього показника збігся у часі з мінімумом температур, тоді як для дрібноділянкового експерименту найнижчі значення спостерігали

наприкінці січня. Надалі зростання вмісту суми розчинних цукрів відзначено у рослинах як відкритого ґрунту, так і вегетаційного експерименту.

Коливальний характер упродовж осінньо-зимового сезону мав також інший досліджуваний показник — частка сухої речовини у надземній частині рослин озимої пшениці (див. рис. 2, б і 3, б). Його зміни відбувались у протифазі щодо змін температури повітря, як це відзначено й у попередній роботі [3]. За утворення снігового покриву на дослідних ділянках динаміка частки сухої речовини у надземній частині рослин дещо відрізнялась від такої вегетаційного експерименту внаслідок збільшення вмісту води у рослинах.

Аналіз наведених результатів засвідчив наявність досить значних змін вмісту розчинних цукрів та частки сухої речовини у надземній частині рослин озимої пшениці протягом осінньо-зимового періоду. Великою мірою динаміка цих показників залежить від температурних умов загартування рослин, яке у досліджені роки відбувалось протягом листопада. Початок загартування супроводжувався суттєвим (у кілька разів) зростанням вмісту розчинних цукрів у рослинах та зменшенням обводнення тканин (частка сухої речовини зростала при цьому приблизно з 14 до 18 %). Сприятливий температурний та світловий режими упродовж зимівлі забезпечував умови для підтримання високого вмісту розчинних цукрів у рослинах. Як відомо, для першої фази загартування необхідна достатня кількість світла. На жаль, у даній роботі ми не визначали рівень фотосинтетично активної радіації, зміни якого впродовж навіть короткого періоду можуть впливати на вміст розчинних цукрів у рослинах. Імовірно, флуктуації цього показника, які ми спостерігали, частково визначаються саме змінами світлового режиму рослин.

Перевищення температурного порогу для проходження загартування (понад +10 °С) призводило до значного зниження рівня накопичення розчинних вуглеводів у рослинах (як це спостерігалось у першій декаді грудня 2008 р. у вегетаційному експерименті). За тривалого перебування в умовах мінусових температур та під сніговим покривом рослини поступово витрачали накопичені цукри, вміст яких поновлювався за появи відповідних умов для перебігу фотосинтезу. В окремі періоди зниження температури повітря до мінусових значень викликало тимчасове збільшення кількості розчинних цукрів у рослинах озимої пшениці, коли умови для синтезу вуглеводів у процесі фотосинтезу були відсутні. Найхарактернішою ілюстрацією цього явища є значне зростання даного показника після дії морозів на початку січня 2008 р., де таке зростання на графіку мало вигляд гострого піка (див. рис. 2, а). Подібна реакція на мінусові температури спостерігалась і для інших часових точок (наприклад, у кінці грудня 2008 р. та лютому 2009 р.). Напевно, частково це є результатом перерозподілу вуглеводів між різними частинами рослини при підвищенні температури. За відсутності фотосинтезу утворення транспортних форм цукрів можливе в результаті розкладання олігоцукрів. Найімовірнішими кандидатами на цю роль у рослинах озимої пшениці є фруктани (фруктозани) [7, 15]. Фруктани розглядаються більшістю дослідників як головне джерело вуглецю для відновлення росту рослин навесні. Вміст цих сполук із різним ступенем полімеризації за зниження температури значно зростає. Частина накопичених фруктанів може використовуватись рослиною також під час зимівлі. Ці сполуки

наділяють і кріопротекторними властивостями, однак механізми їхньої захисної дії не розкрито.

Застосовані нами методи визначення суми розчинних вуглеводів передбачали стадію кислотного гідролізу. За даними Трункової [7], не лише сахароза, а й олігоцукри після 5-хвилинного гідролізу із 2 %-ю соляною кислотою розкладаються до моноцукрів. Якщо припустити, що олігоцукри (у тім числі фруктани) також при цьому гідролізуються, тоді за використання даного методу в рослинному матеріалі визначається сума не лише моно- і дисукрів, а й олігоцукрів.

У дослідях 2006/7 р. та в попередньому дослідженні [2] для екстракції цукрів з рослинного матеріалу використовували масу сирової речовини, тоді як у наступні роки — висушені зразки. Із рис. 1, *a* видно, що амплітуда коливань суми цукрів у 2006/7 р. суттєво менша, ніж в інші роки досліджень (див. рис. 2, *a* і 3, *a*). Проте й температурний чинник упродовж майже усього осінньо-зимового періоду 2006/7 р. не мав таких різких коливань, як в інші сезони. Цілком імовірно, що більша амплітуда змін вмісту цукрів у рослинах у 2007/8 і 2008/9 рр. (див. рис. 2, *a* і 3, *a*) пов'язана з особливостями підготовки проб рослинного матеріалу для аналізу (висушування у сушильній шафі).

Таким чином, отримані нами дані свідчать про значну залежність вуглеводного метаболізму в рослинах озимої пшениці від температурного чинника протягом осінньо-зимового періоду. При цьому між вмістом суми розчинних цукрів і часткою сухої речовини у надземній частині рослин виявляється значна синфазність, тобто синхронність і однакова спрямованість змін (зростання чи зменшення) протягом майже усього часу досліджень, хоча амплітудні характеристики для цих двох показників різняться (див. рис. 2, 3). Під час великих морозів, навпаки, спостерігаються протилежні зміни суми цукрів та частки сухої речовини, можливо, через зсув фаз, коли реакція на рівні метаболізму може виявитись лише за температур, не нижчих від  $-4...-2$  °С.

Порівняння отриманих у цій роботі даних щодо вмісту цукрів із результатами нашого попереднього дослідження вмісту вільного проліну [3] вказує на значну подібність динаміки як розчинних цукрів, так і вільного проліну. Найбільша відмінність між цими показниками полягає в тому, що процеси накопичення та витрачання розчинних цукрів у рослинах озимої пшениці у відповідь на зміни температурного чинника відбуваються значно швидше, ніж перетворення проліну (для якого характерна деяка затримка у часі [3]).

1. Дурьнина Е.П., Егоров В.С. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. — 113 с.
2. Майор П.С., Захарова В.П., Великожон Л.Г. Дослідження накопичення проліну і цукрів у генотипів озимої пшениці, що відрізняються за рівнем морозостійкості // Досягнення і проблеми генетики, селекції та біотехнології. — К.: Логос, 2007. — Т. 1. — С. 121—128.
3. Майор П.С., Захарова В.П., Великожон Л.Г. Зміни вмісту вільного проліну у рослинах озимої пшениці протягом осінньо-зимового періоду // Физиология и биохимия культ. растений. — 2009. — 41, № 5. — С. 371—383.
4. Моргул В.В., Майор П.С. Зимо- і морозостійкість озимих злакових культур // Физиология растений: Проблемы та перспективи розвитку. — К.: Логос, 2009. — Т. 2. — С. 105—165.
5. Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений. — Киев: Наук. думка, 1976. — 333 с.
6. Трунова Т.И. Растение и низкотемпературный стресс // 64-е Тимирязевское чтение. — М.: Наука, 2007. — 54 с.



7. Трунова Т.И. Световой и температурный режимы при закаливании озимой пшеницы и значение олигосахаридов для морозостойкости // Физиология растений. — 1965. — 12. — С. 85—93.
8. Туманов И.И. Физиология закаливания и морозостойкости растений. — М.: Наука, 1979. — 352 с.
9. Couee I., Sulmon C., Gouesbet G. Involvement of soluble sugars in reactive oxygen species balance and responses to oxidative stress in plants // J. Exp. Bot. — 2006. — 57, N 3. — P. 449—459.
10. Guy C., Kaplan F., Kopka J., Hincha D.K. Metabolomics of temperature stress // Physiol. plant. — 2008. — 132. — P. 220—235.
11. Herman E.M., Rotter K., Premakumar R. et al. Additional freeze hardiness in wheat acquired by exposure to  $-3^{\circ}\text{C}$  is associated with extensive physiological, morphological, and molecular changes // J. Exp. Bot. — 2006. — 57, N 14. — P. 3601—3618.
12. Kalberer S.R., Wisniewski M., Arora R. Deacclimation and reacclimation of cold-hardy plants: Current understanding and emerging concepts // Plant Sci. — 2006. — 171. — P. 3—16.
13. Sheen J., Zhou L., Jang J.C. Sugars as signaling molecules // Curr. Opin. Plant Biol. — 1999. — 2. — P. 410—418.
14. Vagujfalvi A., Kerepesi I., Galiba G. et al. Frost hardiness depending on carbohydrate changes during cold acclimation in wheat // Plant Sci. — 1999. — 144, N 2. — P. 85—92.
15. Valluru R., Van den Ende W. Plant fructans in stress environments: emerging concepts and future prospects // J. Exp. Bot. — 2008. — 59, N 11. — P. 2905—2916.

Получено 26.06.2009

#### СОДЕРЖАНИЕ РАСТВОРИМЫХ САХАРОВ В РАСТЕНИЯХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ТЕЧЕНИЕ ОСЕННЕ-ЗИМНЕГО ПЕРИОДА

*П.С. Майор, Г.Я. Козина, Л.В. Сливка*

Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины, Киев

Исследовали динамику содержания растворимых сахаров в растениях 28 генотипов озимой пшеницы на протяжении осенне-зимнего периода в условиях вегетационного и мелкочащечного опытов. Установлена значительная зависимость углеводного метаболизма в растениях озимой пшеницы от температурного фактора. При этом между содержанием суммы растворимых сахаров и долей сухого вещества в надземной части растения выявлена синфазность изменений на протяжении почти всего времени наблюдений, хотя амплитудные характеристики этих двух показателей различались.

#### SOLUBLE SUGAR CONTENT IN WINTER WHEAT PLANTS DURING AUTUMN-WINTER PERIOD

*P.S. Major, G.Ya. Kozina, L.V. Slivka*

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine  
31/17 Vasylykivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

The dynamics of soluble sugar contents were investigated in above-ground part of plants of 28 winter wheat genotypes in the vegetation and small plot field experiments under natural temperature conditions during autumn-winter periods of three years. Substantial dependence of carbohydrate metabolism in winter wheat on temperature was revealed. Considerable phase synchronism in changes of soluble sugar and dry matter contents in plants was observed during almost the whole period of monitoring. At the same time, amplitudes of these changes were different.

*Key words:* *Triticum aestivum* L., wintering, low temperature, frost resistance, soluble sugars.