

УДК 581.19:577.156

**О. В. Тихонова**<sup>1</sup>, асп., **О. О. Молодченкова**<sup>2</sup>, канд біол. наук,  
**В. Г. Адамовська**<sup>2</sup>, канд с.-х. наук, **С. А. Петров**<sup>1</sup>, д-р біол. наук, проф.

<sup>1</sup> Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, кафедра біохімії,  
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65026, Україна. Тел.: (0482) 68-78-75

<sup>2</sup> Селекційно-генетичний інститут — Національний центр насіннезнавства  
та сортовивчення Української академії аграрних наук,  
лабораторія біохімії та фізіології рослин,  
Овідіопольська дорога, 3, Одеса, 65036, Україна. Тел.: 39-54-73

## МЕТАБОЛІЗМ ВУГЛЕВОДІВ У ТКАНИНАХ ПАРОСТКІВ КУКУРУДЗИ ПІД ВПЛИВОМ ВОДЯНОГО ТА ТЕПЛООВОГО СТРЕС-ФАКТОРІВ

Досліджені зміни в амілолітичній активності та вмісті редукуючих цукрів у тканинах паростків кукурудзи (*Zea mays* L.) під впливом водяного дефіциту (ВД), теплового шоку (ТШ) та їх сумісної дії. Показано, що у тканинах паростків стійкої лінії активність амілази знижується під впливом дії ВД і сумісної дії стресорів ВД та ТШ. Припускається вплив накопичених у процесі експерименту редукуючих цукрів. Підвищений вміст моно- та дисахаридів в тканинах стійкої лінії свідчить про адаптивну реакцію паростків на дію стресорів.

**Ключові слова:** кукурудза, амілаза, моносахариди, дисахариди, стрес.

Серед різноманітних біохімічних реакцій, що відбуваються у рослині за дії несприятливих факторів середовища, спостерігаються зміни в активності ферментних систем, зокрема енергетичного обміну [1, 2, 3].

В деградації крохмалю, основної запасної речовини злаків, за пророщування приймає участь ряд ферментів, але амілаза відіграє найбільш важливу роль, тому що вона є ключовим ферментом цього процесу [4]. Амілаза забезпечує низькомолекулярними вуглеводами процеси синтезу у тканинах паростків. Водночас відбувається накопичення осмотично активних речовин, що підтримують ріст рослин, а також сприяють розвитку витривалості до зневоднення [5, 6, 7].

Мета роботи — з'ясувати можливі механізми зміни активності амілази та вмісту редукуючих цукрів у паростках кукурудзи, що зазнали дії водяного дефіциту (ВД) и теплового шоку (ТШ).

### Матеріали і методи

Досліджували 3-добові паростки ліній кукурудзи (*Zea mays* L.), які відрізнялися за ознакою посухостійкості (стійка лінія — Од329зМ, чутлива лінія — См7SLзМ).

У дослідах використовували неушкоджені зернівки кукурудзи, які пророщували на фільтрувальному папері у термостаті при температу-

рі 25 °С за відносної вологості повітря 60 %. Водяний дефіцит (ВД) відтворювали, поміщуючи паростки в камеру з вологістю повітря 35–40%. Тепловий шок (ТШ) відтворювали шляхом розміщення рослин в термостаті при 37 °С. Тривалість дії стресових факторів — 6 годин. Рослини контрольного варіанту впродовж дослідів знаходилися в умовах оптимального зволоження при температурі 25 °С. По закінченні експозиції відпрепаровані надземні частини, ендосперм та коріння паростків заморозували при — 70 °С.

Активність амілази визначали за методом Вольгемута [8]. Питому активність обчислювали в нкат/г білка. Вміст білка визначали за методом Lowry [9].

Вміст редуруючих цукрів визначали за методом Калініна Ф. Л. і Ястрембович Н. І. [10] та перераховували у відсотках від сухої речовини.

Статистичну значимість відмінностей між вибірками визначали за допомогою критерія Ст'юдента [11].

### Результати та їх обговорення

Основним місцем каталітичної активності амілази було виявлено, як і передбачалося, ендосперм, де і відбуваються процеси гідролізу крохмалю. Проте, вірогідних змін в активності амілази під впливом стрес-факторів порівняно з контролем у тканинах ендосперму не помічено (табл. 1). Це можна пояснити бар'єрними функціями оболонок зерна, завдяки яким дія стресових факторів була затримана. Проте, виявлено тенденцію до зниження активності ферменту у чутливій лінії при сумісній дії стресорів, тоді як у стійкої лінії цей показник наближається до контрольних значень.

Таблиця 1

**Активність амілази в паростках ліній кукурудзи під впливом стрес-факторів, нкат/г білка**

Лінії	Об'єкти дослідження	Варіанти дослідів			
		Контроль	ВД	ТШ	ВД + ТШ
Стойка лінія Од329зМ	Ендосперм	52,42×10 <sup>3</sup> ±1,52×10 <sup>3</sup>	46,45×10 <sup>3</sup> ±1,35×10 <sup>3</sup>	47,74×10 <sup>3</sup> ±1,39×10 <sup>3</sup>	49,88×10 <sup>3</sup> ±1,45×10 <sup>3</sup>
	Надземні органи	142,89±4,15	83,55±2,43*	132,99±3,86	93,44±2,71*
	Коріння	678,10±19,69	544,21±15,80*	618,01±17,90	449,50±13,05*
Чутлива лінія См7SLзМ	Ендосперм	75,78×10 <sup>3</sup> ±2,19×10 <sup>3</sup>	76,90×10 <sup>3</sup> ±2,23×10 <sup>3</sup>	71,39×10 <sup>3</sup> ±2,07×10 <sup>3</sup>	64,32×10 <sup>3</sup> ±1,87×10 <sup>3</sup>
	Надземні органи	111,12±3,22	67,98±1,97*	140,28±4,07*	95,54±2,78
	Коріння	959,50±27,86	992,88±28,83	1205,35±34,99*	551,99±16,00*

Примітка: \*p<0,05

Щодо інших об'єктів дослідження, то в них спостерігалось значне зменшення активності ферменту, особливо за сумісної дії стрес-факторів.

Враховуючи те, що кінцевими продуктами гідролізу крохмалю є низькомолекулярні вуглеводи, ми вивчили вплив стрес-факторів на вміст моно- і дисахаридів у тканинах паростків кукурудзи.

Результати цих досліджень продемонстрували значне збільшення вмісту моносахаридів у тканинах паростків за умов дії стрес-факторів (табл. 2).

Слід зауважити, що вищезазначені закономірності були більш виразними у випадку стійкої лінії порівняно з чутливою.

Якщо співставити результати таблиць 1 і 2, то можна стверджувати, що зменшення активності ферменту у тканинах паростків стійкої лінії пов'язано з вірогідним збільшенням вмісту моносахаридів (у 2–4 рази), що мають властивість пригнічувати активність ферменту по принципу зворотного зв'язку [12]. Ймовірно, попереднє накопичення моносахаридів призвело до часткової інактивації амілази для попередження подальшого гідролізу полісахаридів. Це припущення не суперечить можливому поясненню змін в активності амілази тканин паростків чутливої лінії, де збільшення вмісту моносахаридів в умовах дослідів максимально є двократним.

Таблиця 2

**Вміст моносахаридів у паростках ліній кукурудзи під впливом стрес-факторів, % від сухої речовини**

Лінії	Об'єкти дослідження	Варіанти дослідю			
		Контроль	ВД	ТШ	ВД + ТШ
Стойка лінія Од329зМ	Ендосперм	0,70±0,02	0,78±0,02	0,72±0,02	0,52±0,02*
	Надземні органи	0,35±0,01	0,58±0,02*	1,04±0,03*	1,44±0,04*
	Коріння	0,31±0,01	1,44±0,04*	1,03±0,03*	1,27±0,04*
Чутлива лінія См7SLзМ	Ендосперм	0,52±0,02	0,78±0,02*	0,78±0,02*	0,66±0,02*
	Надземні органи	0,62±0,02	0,76±0,02*	1,14±0,03*	1,12±0,03*
	Коріння	0,55±0,02	0,48±0,01	1,11±0,03*	1,26±0,04*

Примітка: \* $p < 0,05$

За визначення вмісту дисахаридів нами отримано наступні результати (табл. 3).

Слід звернути увагу на зменшення цього показника в тканинах коріння чутливої лінії під дією ВД і сумісної дії ВД та ТШ. Саме ця частина паростків відчуває найбільший тиск стрес-факторів. У тканинах коріння стійкої лінії спостерігається тенденція до збільшення цього показника у випадку сумісної дії стресорів. Щодо надземної частини рослин, то в ній здебільшого спостерігалось зворотнє явище, що свідчить про перерозподіл дисахаридів у рослині в умовах дії

стресу. Згідно з літературними даними цукри беруть участь в осморегуляції рослин. Ріст концентрації даних речовин за умов стресу в літературі розглядається як захисна реакція рослин для підвищення осмотичного потенціалу [13, 14], котрий знижується за умов дії різноманітних стресових агентів [15].

Таблиця 3

**Вміст дисахаридів у паростках ліній кукурудзи під впливом стрес-факторів, % від сухої речовини**

Лінії	Об'єкти дослідження	Варіанти досліду			
		Контроль	ВД	ТШ	ВД + ТШ
Стійка лінія Од329зМ	Ендосперм	0,35±0,01	0,25±0,01*	0,34±0,01	0,34±0,01
	Надземні органи	10,84±0,32	8,87±0,26*	7,57±0,22*	13,75±0,40*
	Коріння	7,45±0,22	6,59±0,19	8,75±0,26	7,97±0,22
Чутлива лінія См7SLзМ	Ендосперм	0,37±0,01	0,34±0,01	0,66±0,02*	0,51±0,02*
	Надземні органи	7,94±0,23	11,14±0,32*	11,50±0,33*	12,25±0,36*
	Коріння	9,59±0,28	6,34±0,19*	10,68±0,31	8,32±0,25*

Примітка: \* $p < 0,05$

### Висновки

1. Під впливом дії ВД і сумісної дії ВД та ТШ у тканинах паростків стійкої лінії кукурудзи знижується активність амілази.
2. Підвищений вміст редуруючих цукрів в тканинах стійкої лінії в умовах сумісної дії ВД та ТШ свідчить про адаптивну реакцію рослин на дію стресових факторів.

### Література

1. Мусиенко Н. Н., Славный П. С. Роль нуклеиновых кислот в адаптации растений к высокой температуре // Вопросы физиологии, биохимии, цитологии и флоры Украины. — Киев: Наук. Думка. — 1974. — С. 112–114.
2. Моргун В. В., Григорюк І. П. Наукові напрямки досліджень в галузі фізіології водного режиму та посухостійкості рослин в Україні // Актуальні проблеми фізіології водного режиму та посухостійкості рослин: Зб. наук. пр. — К.: Ін-т фізіології рослин і генетики. — 1997. — С. 12–20.
3. Тарчевский И. А. Сигнальные системы клеток растений. — М.: Наука. — 2002. — 294 с.
4. Dunn G. A. Model for Starch Breakdown in Higher Plants // Phytochemistry. — 1974. — V. 13. — P. 1341–1346.
5. Келес Ю., Онсел И. Рост и содержание ряда растворимых метаболитов у двух видов пшеницы, подвергнутых совместному действию нескольких стресс-факторов // Физиология растений. — 2004. — 51, № 2. — С. 228–233.
6. Пшибытко Н. Л., Калитуха Л. Н., Волкова Е. В., Кабашикова Л. Ф. Роль сахаров в адаптации фотосинтетического аппарата к стрессовым факторам // Физиология и биохимия культ. растений. — 2003. — 35, № 4. — С. 330–341.

7. Кафи М., Стюарт В. С., Борланд А. М. Содержание углеводов и пролина в листьях, корнях и апексах сортов пшеницы, устойчивых и чувствительных к засолению // Физиология растений. — 2003. — 50, № 2. — С. 174–182.
8. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. и др. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А. И. Ермакова. — Л.: Агропромиздат. — 1987. — 430 с., ил. — С. 54–57.
9. Lowry O. H., Rosenbrough N. I., Fan A. Z., Randol R. J. Protein measurement with the Folin phenol reagent // J. Biol. Chem. — 1951. — V. 193. — P. 265–275.
10. Калинин Ф. Л., Ястрембович Н. И. Колориметрическое определение моно- и дисахаров, белкового и небелкового азота, фосфора и калия в одной навеске растительного материала. Вопросы обмена веществ сельскохозяйственных растений. — Киев.: Изд-во акад. Наук УССР. — 1953. — С 105–110.
11. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. — Минск: Высш. Школа. — 1967. — 326 с.
12. Loreti E., Alpi A., Perata P. Glucose and Disaccharide-Sensing Mechanisms Modulate the Expression of  $\alpha$ -amylase in Barley Embryos // Plant Physiol. — 2000. — V. 123. — P. 939–948.
13. Франко О. Л., Мело Ф. Р. Осмопротекторы: ответ растений на осмотический стресс // Физиология растений. — 2000. — 47, № 1. — С. 152–159.
14. Buleon A., Colonna P., Planchot V., Ball S. Starch granules: structure and biosynthesis // Int. J. Biol. Macromol. — 1998. — 23, № 1. — P. 85–112.
15. Lichtenthaler H. K. The stress concept in plants: An introduction // Stress of life: From molecules to man. — 1998. — V. 851. — P. 187–198.

**О. В. Тихонова<sup>1</sup>, О. О. Молодченкова<sup>2</sup>, В. Г. Адамовская<sup>2</sup>,  
С. А. Петров<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова,  
кафедра биохимии,  
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65026, Украина. Тел.: (0482) 68-78-75

<sup>2</sup> Селекционно-генетический институт — Национальный центр семеноведения  
и сортоизучения Украинской академии аграрных наук, лаборатория биохимии  
и физиологии растений,  
Овидиопольская дорога, 3, Одесса, 65036, Украина. Тел.: 39-54-73

## **МЕТАБОЛИЗМ УГЛЕВОДОВ В ТКАНЯХ ПРОРОСТКОВ КУКУРУЗЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДНОГО И ТЕПЛООВОГО СТРЕСС-ФАКТОРОВ**

### **Резюме**

Исследованы изменения в амилолитической активности и содержании редуцирующих сахаров в тканях проростков кукурузы под влиянием водного дефицита, теплового шока и их сочетания. Показано, что в тканях проростков устойчивой линии активность амилазы снижается под влиянием ВД и совместного действия стрессоров ВД та ТШ. Повышенное содержание моно- и дисахаров в тканях устойчивой линии свидетельствует об адаптивном характере реакции проростков на действие стрессоров.

**Ключевые слова:** кукуруза, амилаза, моносахариды, дисахариды, стресс.

**O. V. Tichonova**<sup>1</sup>, **O. O. Molodchencova**<sup>2</sup>, **V. G. Adamovskaya**<sup>2</sup>,  
**S. A. Petrov**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Odessa National I.I. Mechnikov University, Department of Biochemistry,  
Dvoryanskaya St., 2, Odessa, 65026, Ukraine. Tel.: (0482) 68-78-75

<sup>2</sup> Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar  
Investigation Ukrainian Academy of Agricultural Sciences, Laboratory of Plant  
Biochemistry and Physiology,  
Ovidiopska road, 3, Odessa, 65036, Ukraine. Tel.: 39-54-73

### **CARBOHYDRATE METABOLISM IN MAIZE SEEDLINGS TISSUES UNDER THE INFLUENCE OF WATER AND HEAT STRESS- FACTORS**

#### **Summary**

The changes in amylase activity and the content of carbohydrates in maize seedlings tissues under the influence of water deficit, heat shock and their combination were studied. It was shown that in maize seedlings tissues of resistant line the amylase activity decreased in response to water deficit and combined water deficit and heat shock stress. The high content of saccharides in tissues of resistant line tells in favour of the adaptive character of seedlings reaction on the stress action.

**Keywords:** *Zea mays* L., amylase, monosaccharides, disaccharides, stress.