



УДК 58.04:581.174:582.661.15

## ЗМІНИ МЕМБРАННОЇ СИСТЕМИ ХЛОРОПЛАСТІВ ЛИСТКІВ ГОРОХУ ПІД ДІЄЮ ІНГІБІТОРІВ КАРБОНАГІДРАЗИ (ІОНІВ МІДІ ТА ЦИНКУ)

М.В. ВОДКА \* і Н.О. БІЛЯВСЬКА

**Анотація.** Визначали вплив інгібіторів карбонатгідрокси, а саме іонів  $\text{Cu}^{2+}$  та  $\text{Zn}^{2+}$  на мембранну систему хлоропластів листків гороху. Після обробки листків гороху 250 мкМ  $\text{Cu}^{2+}$  або 400 мкМ  $\text{Zn}^{2+}$  спостерігалися зміни будови гран, неоднорідність упаковки тилакоїдів в гранах, що проявлялося у збільшенні межтилакоїдних проміжків і товщини гранальних тилакоїдів у порівнянні з контролем. Зміна розмірів тилакоїдів і гран, в оброблених іонами  $\text{Me}^{2+}$  листках, може бути пов'язана з накопиченням  $\text{CO}_2$  у мембрані. Дані роботи дозволяють припустити, що карбонатгідрокси відіграє структурну роль.

**Ключові слова:** *Pisum sativum*, грани, тилакоїди, хлоропласти, фотосинтетичний апарат, інгібітори, карбонатгідрокси, бікарбонат

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного, вул. Терещенківська, 2, Київ, 01601, Україна; \* [marinavodka@yandex.ru](mailto:marinavodka@yandex.ru)

### Вступ

Тилакоїди містять карбонатгідрокси (КА) – фермент, який каталізує реакцію утворення бікарбонату та обернену реакцію його дегідратації. Серед рослинних КА найменш вивченими залишаються стромальні і тилакоїдні форми ферменту, локалізовані на внутрішніх мембранах хлоропластів клітин мезофілу листка (RUDENKO *et al.* 2007). Відомо, що активність КА пригнічується іонами ТМ (LIONETTO *et al.* 2012), їх вплив на КА рослин до теперішнього часу систематично не досліджувався. У зв'язку з цим, однією з цілей даної роботи було вивчення дії іонів міді і цинку на ультраструктуру хлоропластів гороху.

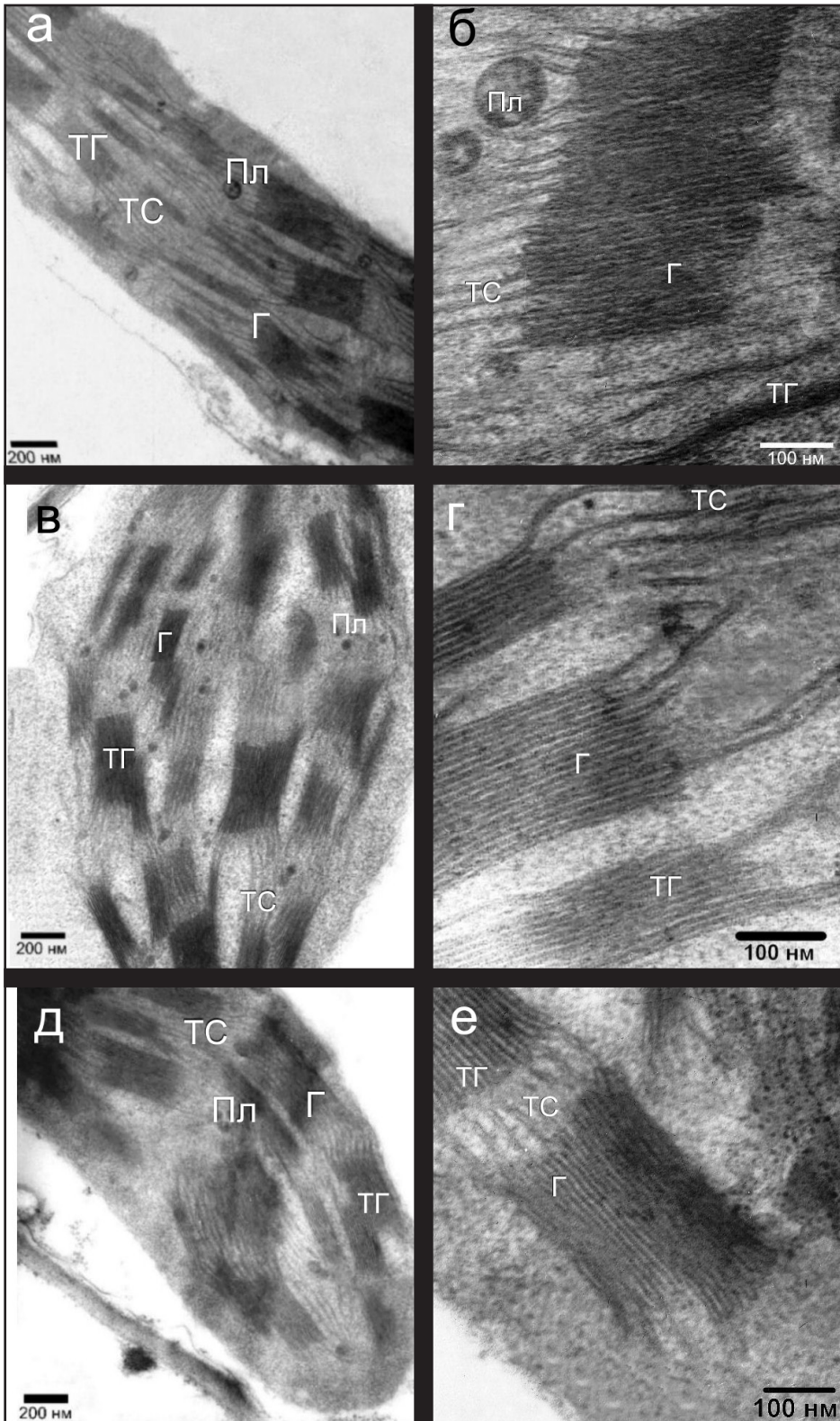
### Матеріали і методи досліджень

У досліджах використовували листя 14-добових проростків *Pisum sativum* L. (сорт 'Уладовський 10'). Зрізані листові пластинки гороху поміщали у чашки Петрі, наповнені дистильованою водою, 250 мкМ  $\text{CuSO}_4$  або

400 мкМ  $\text{ZnCl}_2$ , на 2,5 доби при температурі 22°C і освітленості 15 мкмоль квантів/м<sup>2</sup>·с. Ультратонкі зрізи клітин отримували за допомогою ультрамікротома LKB-V (LKB, Швеція). Препарати досліджували і фотографували за допомогою трансмісійного електронного мікроскопа JEM-1300 (JEOL, Японія).

### Результати та їх обговорення

На Рис. 1 представлені електронні мікрофотографії зрізів фрагментів хлоропластів гороху. У зразках листків контрольованого варіанту (Рис. 1 а) чітко виділяються окремі грани, пластоглобули, тилакоїди строми. При великому збільшенні видно інтактну грану, яка складається з 42 тилакоїдів, від кінцевих ділянок яких відходять тилакоїди строми (Рис. 1 б). Під дією  $\text{Cu}^{2+}$ , як видно з Рис. 1 в та г, товщина тилакоїдів гран і ширина міжтилакоїдних проміжків збільшувалася на 11% і 10%, відповідно, при збереженні загальної структури гран і рівномірної упаковки



тилакоїдів в гранах. Після обробки хлоропластів іонами  $Zn^{2+}$  (Рис. 1 д, е) спостерігалася неоднорідність упаковки тилакоїдів гран, зміна будови гран, що проявлялася в розширенні міжтилакоїдних проміжків на 14%, товщина тилакоїдів гран також збільшувалася в порівнянні з контролем на 18%. Ефект цинку виявився більш виразним, ніж ефект міді.

Зміна розмірів тилакоїдів і гран, в оброблених іонами  $Me^{2+}$  листках, може бути пов'язана з накопиченням  $CO_2$  у мембрані. Представлені нами експериментальні дані дозволяють висловити припущення про участь карбоангідрози в організації та

підтримці інтактності мембранної структури гран хлоропластів, а також, що КА відіграє структурну роль.

### Використані джерела

- LIUNETTO M.G., CARICATO R., GIORDANO M.E., ERROI E., SCETTINO T. 2012. Chapter 8. Carbonic anhydrase and heavy metals. In: ЕКИНЦИ D. (ed.), Biochemistry: 205–224. InTech, Rijeka. <http://www.intechopen.com/books/biochemistry/carbonic-anhydrase-and-heavy-metals>
- RUDEENKO N.N., IGNATOVA L.K., IVANOV B.N. 2007. Multiple sources of carbonic anhydrase activity in pea thylakoids: soluble and membrane-bound forms. *Photosynth. Res.* 91: 81–89.

## THE CHANGES IN THE CHLOROPLAST MEMBRANES OF PEA LEAVES UNDER THE INFLUENCE OF CARBONIC ANHYDRASE INHIBITORS (IONS OF COPPER AND ZINC)

M.V. VODKA \* & N.O. BILYAVS'KA

**Abstract.** The effects of carbonic anhydrase inhibitors, such as ions  $Cu^{2+}$  and  $Zn^{2+}$ , on the membrane system of chloroplasts in pea leaves were investigated. After treatment of pea leaves with 250 mM  $Cu^{2+}$  or 400 mM  $Zn^{2+}$  we observed changes in the granal structure and compactness of the thylakoids in granae. It was shown that the thickness of granal thylakoids and the interspace between thylakoids increased comparing to control. Changes of the size and structure of thylakoids and granae in treated leaves may be associated with the enhanced accumulation of  $CO_2$  in the membrane. It is suggested that the carbonic anhydrase may also play a structural role in chloroplast granae.

**Key words:** *Pisum sativum*, carbonic anhydrase, bicarbonate, chloroplast, grana, inhibitors, thylakoid

M.G.Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, Tereshenkiska str. 2, 01601 Kyiv, Ukraine; \* [marinavodka@yandex.ru](mailto:marinavodka@yandex.ru)

◀ **Рис. 1.** Ультраструктура листків гороху: а, б – контроль; в, г – обробка  $Cu^{2+}$ ; д, е – обробка  $Zn^{2+}$ . Г – грана; ПЛ – пластоглобули; ТГ – тилакоїди грани; ТС – тилакоїди строми.

◀ **Fig. 1.** The ultrastructure of chloroplast in pea leaves: а, б – control; в, г – treated by  $Cu^{2+}$ ; д, е – treated by  $Zn^{2+}$ . Г – grana; ПЛ – plastoglobule; ТГ – thylakoids of grana; ТС – thylakoids of stroma.