

А. Пустовалов, канд. биол. наук,  
Е. Ткаченко, студ.,  
М. Матвиенко, канд. биол. наук,  
Н. Дзержинский, д-р биол. наук  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

### МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ВИСЦЕРАЛЬНОЙ БЕЛОЙ ЖИРОВОЙ ТКАНИ КРЫС ПРИ РАЗВИТИИ ОЖИРЕНИЯ И ПРИ ВВЕДЕНИИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

Исследовано морфофункциональное состояние висцеральной белой жировой ткани крыс в условиях развития ожирения и при введении растворов соли серебра и наночастиц серебра. В частности, проанализированы морфофункциональные изменения, а также эффекты введения растворов нитрата серебра и наночастиц серебра в дозах 1 мг/1 кг и 0,5 мг/1 кг массы тела на морфофункциональное состояние висцеральной белой жировой ткани крыс на фоне высококалорийной диеты. Установлены морфофункциональные изменения в клетках белой жировой ткани крыс на фоне высококалорийной диеты и при введении препаратов серебра в различных концентрациях. Состояние жировой ткани оценивалось на основе следующих параметров: относительная масса висцерального жира, площадь поперечного сечения адипоцитов, относительное количество адипоцитов на единицу площади. Сравнивались эффекты введения животным с ожирением растворов нитрата серебра в дозах 1 мг/1 кг и 0,5 мг/1 кг массы тела, а также растворов наночастиц серебра в дозах 1 мг/1 кг и 0,5 мг/1 кг. Все указанные препараты серебра в разной степени снижали проявления ожирения у животных, которые содержались в условиях высококалорийной диеты. Помимо формы препарата серебра (раствор нитрата серебра или раствор наночастиц серебра), существенное значение имеет концентрация. Наибольшую эффективность имело введение животным раствора наночастиц серебра в дозе 0,5 мг/1 кг массы тела. При этом у крыс данной экспериментальной группы исследуемые параметры не только достигли контрольных значений, а и превзошли их, что свидетельствует о существенном влиянии препарата на проявления ожирения. Кроме того, у крыс наблюдались признаки истощения жировой ткани.

Ключевые слова: белая жировая ткань, высококалорийная диета, ожирение, наночастицы серебра, нитрат серебра.

A. Pustovalov, PhD,  
O. Tkachenko, stud.,  
M. Matviienko, PhD,  
M. Dzerzhynsky, Dr. Sci.  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

### MORPHOFUNCTIONAL STATE OF RAT VISCERAL WHITE ADIPOSE TISSUE UNDER OBESITY DEVELOPMENT AND SILVER NANOPARTICLES ADMINISTRATION

There was studied the morphofunctional state of the visceral white adipose tissue of rats with obesity and after introduction of silver salt solution and silver nanoparticles solution. In particular, we analyzed the morphofunctional changes in the visceral white adipose tissue of rats on a high-calorie diet, as well as the effects of the silver nitrate solution and the silver nanoparticles solution at a dose of 1 mg / 1 kg body weight and 0.5 mg / 1 kg body weight on the morphofunctional state of the visceral white adipose tissue of rats on a high-calorie diet. There were established morphofunctional changes in cells of the rats white adipose tissue on the high-calorie diet and with the introduction of silver preparations in different concentrations. The condition of the adipose tissue was evaluated on the basis of the following parameters: the relative mass of the visceral fat, the cross-sectional area of adipocytes, the relative number of adipocytes per unit area. There were compared effects of administration to animals with obesity of the silver nitrate solution at a dose of 1 mg / 1 kg body weight and 0.5 mg / 1 kg body weight, as well as of the silver nanoparticles solution at a dose 1 mg / 1 kg body weight and 0.5 mg / 1 kg of body weight. All the above silver preparations reduced the manifestations of obesity in animals which were maintained in a high-calorie diet. In addition to the form of the silver preparation (silver nitrate solution or silver nanoparticle solution), its concentration is important. The highest efficiency was shown after the administration of the silver nanoparticles solution at a dose 0.5 mg / 1 kg of body weight. In rats of this experimental group, the studied parameters not only reached the control values, but they also exceeded them, which indicates expressed influence of the drug on the obesity manifestations. In addition, the rats showed signs of fat depletion.

Keywords: white adipose tissue, high-calorie diet, obesity, silver nanoparticles, silver nitrate.

УДК 582.623.2:57.049  
DOI 10.17721/1728\_2748.2020.83.43-49

Ю. Хома, асп.,  
Л. Худолєєва, канд. біол. наук,  
Н. Куцоконь, канд. біол. наук  
Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ, Україна

### ВПЛИВ СОЛЬОВОГО СТРЕСУ НА РОСЛИНИ ТОПОЛІ КЛОНУ 'INRA 353-38' ТА ВЕРБИ КЛОНУ 'ЖИТОМИРСЬКА-1' В УМОВАХ КУЛЬТУРИ *IN VITRO*

Засолення ґрунтів є важливим абіотичним фактором, що негативно впливає на ріст, розвиток і продуктивність рослин. Швидкорослі дерева тополі та верби є важливими біоенергетичними рослинами, що виявляють різний ступінь адаптації до різноманітних середовищ існування. Дослідження солестійкості у різних клонів тополі і верби дозволяє виявити генотипи, які можна вирощувати на засолених ґрунтах із використанням біомаси в біоенергетичній галузі. Тому метою роботи було вивчення впливу сольового стресу на рослини тополі клону 'INRA 353-38' (*Populus tremula* × *P. tremuloides*) та верби клону 'Житомирська-1' (*Salix* sp.) в умовах культури *in vitro*. Для проведення дослідження рослини культивували на поживному середовищі на основі солей МС із додаванням хлориду натрію у концентраціях 25, 50 та 100 мМ. Контрольні рослини вирощували на вільному від хлориду натрію середовищі. Стан рослин (за 4-бальною шкалою), інтенсивність їх росту (за довжиною пагона) і коренеутворення (за кількістю коренів) оцінювали на 10-й та 30-й дні культивування. Отримані результати свідчать про високий рівень чутливості до хлориду натрію обох досліджених клонів за умов культури *in vitro*. Проте верба 'Житомирська-1' характеризувалася вищою чутливістю до сольового стресу порівняно з гібридною тополю клону 'INRA 353-38', оскільки ростові реакції у верби значно знижувалися вже за вмісту хлориду натрію в поживному середовищі 50 мМ, а за короткотривалої дії (10 днів) високої концентрації хлориду натрію (100 мМ) усі рослини верби припиняли ріст і швидко гинули. У гібридної тополі ростові реакції знижувалися впродовж місяця, переважно за найвищої концентрації хлориду натрію, проте навіть за таких умов частина пагонів залишалась життєздатною.

Ключові слова: тополя (*Populus*), верба (*Salix*), сольовий стрес, культура *in vitro*.

**Вступ.** Засолення ґрунтів є одним із важливих абіотичних стресів у навколишньому середовищі, що обмежує ріст, розвиток і продуктивність рослин. Згідно з даними ФАО, у світі близько 1 млрд га земель є засоле-

ними [4]. В Україні, за даними Державного земельного кадастру, засолені ґрунти займають 1,92 млн га [20]. Існують первинне (природне) і вторинне (антропогенне) засолення. Якщо первинне засолення є природним

явищем, то вторинне відбувається через нераціональний вплив людини на ґрунти. Накопичення солі в орних ґрунтах відбувається переважно зі зрошувальної води, що містить незначну кількість хлориду натрію ( $\text{NaCl}$ ), і внаслідок використання неорганічних добрив [6, 18]. Серед зрошувальних земель в Україні налічується близько 350 тис. га засолених, з них 70–100 тис. га – вторинно засолених, і їхня площа невпинно зростає [20]. Крім цього, значного засолення зазнають ґрунти в мегаполісах унаслідок використання хлориду натрію в зимовий період для зменшення ожеледиці на дорогах [19].

Засолення ґрунтів відбувається переважно катіонами  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  та аніонами  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  та  $\text{S}^{2-}$ . Серед різних типів засолення найбільш негативний вплив на ґрунти та рослини здійснюється хлоридами, зокрема хлоридом натрію ( $\text{NaCl}$ ) [24]. Як і за посушливих умов, збільшення солоності ґрунту передбачає зменшення потенціалу води у ґрунті [9]. Особливість впливу хлориду натрію порівняно з іншими абіотичними стресами полягає у його подвійній дії на рослини. По-перше, іони  $\text{Na}^+$  та  $\text{Cl}^-$  створюють високий осмотичний тиск у ґрунтового розчині, у результаті чого відбувається зв'язування води та ускладнюється її поглинання коренем, що призводить до осмотичного стресу. По-друге, поглинені разом із водою  $\text{Na}^+$  та  $\text{Cl}^-$  іони викликають порушення у функціонуванні мембран, негативно впливають на метаболічні процеси рослин і призводять до зменшення ефективності фотосинтезу, що відбувається в результаті іонного стресу. Токсичність сольових іонів чинить численні шкідливі ефекти на рослини, такі як денатурація цитозольних ферментів, і сприяє утворенню активних форм кисню, які можуть пошкодити мембрани та білки [2, 12, 15, 17]. Продихи у листках рослин чутливі до змін водного потенціалу ґрунту, тому їх закривання зазвичай відбувається під час посухи та сольового стресу. Зниження провідності продихів зменшує кількість вхідного  $\text{CO}_2$ , що призводить до послаблення фотосинтезу. А це, у свою чергу, спричиняє зниження ростової активності та зменшує продуктивність рослин. Для пом'якшення осмотичного стресу рослини застосовують різноманітні механізми для зменшення втрат води. Крім того, рослини мінімізують шкідливий вплив стресу іонного  $\text{Na}^+$  шляхом виключення  $\text{Na}^+$  із тканин листків і його компартменталізації, головним чином у вакуолі [1].

Швидкорослі дерева тополі та верби належать до широко розповсюдженої в Північній півкулі родини *Salicaceae*, яка надзвичайно активно використовується людиною в різних сферах діяльності. Багато видів вербових відіграють важливу роль у виробництві біопалива, охороні навколишнього середовища та лісорозведенні на деградованих ґрунтах [23]. Ці деревні породи виявляють різний ступінь адаптації до різноманітних середовищ існування [2, 3, 9], деякі з них є толерантними до сольового стресу [5, 10]. Ураховуючи занепокоєння громадськості із приводу використання орних земель для виробництва біоенергії, існує можливість реалізувати економічні й екологічні вигоди шляхом вирощування нехарчових деревних культур, таких як тополя і верба, на маргінальних землях, що є непридатними для вирощування сільськогосподарських культур [13].

Окрім економічної та екологічної значущості, рід *Populus* також є моделлю для з'ясування фізіологічних і молекулярних механізмів толерантності до стресів у деревних порід. Різні види дерев суттєво відрізняються за стійкістю до сольового стресу, при цьому *Populus euphratica* вважають найбільш солестійким видом серед тополь [7]. Основними механізмами толерантності цього виду до засолення є розподіл іонів  $\text{Cl}^-$  у вакуолях клітин кореня, активація розподілу  $\text{Na}^+$  у ґрунтового

розчині та зменшення надмірних втрат  $\text{K}^+$  шляхом регуляції каналів, що активуються деполяризацією. Це підтримує баланс  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ , що є важливою передумовою виживання в умовах сольового стресу [3]. Абсцизова кислота,  $\text{Ca}^{2+}$ , активні форми кисню та накопичення різноманітних первинних і вторинних метаболітів беруть участь у сприйнятті стресу. Після тривалого впливу солі *Populus euphratica* розвиває соковитість листків як пластичну морфологічну адаптацію, що розріджує сіль [3].

Рід *Salix* характеризується ще більш значною видовою різноманітністю, серед якої є види з різною стійкістю до абіотичних стресів. Зокрема, у Канаді серед 37 нативних та екзотичних клонів виявлено 6 генотипів із високою стійкістю до сильного засолення у зразках ґрунту [8]. Тетраплоїдна верба *Salix matsudana* має високу толерантність до абіотичних стресів, зокрема порівняно з диплоїдними батьківськими формами. Такі дерева висаджують на березі моря з метою покращення екологічної ситуації та використання маргінальних земель [14]. Вагомий внесок у освоєння засолених ґрунтів і прибережних солончаків роблять і тополі, отримані методами генетичної інженерії [11, 22].

Оскільки засолення ґрунтів в Україні та світі все більше зростає через нераціональний вплив людини, а також через глобальні зміни клімату, то існує потреба у ефективному використанні цих ґрунтів. Дослідження солестійкості у різних клонів тополі та верби дозволить виявити генотипи, які можуть бути придатними для використання в біоенергетичній галузі, меліорації маргінальних ґрунтів, а також відновлення місцевого біорізноманіття.

**Метою роботи** було вивчення впливу сольового стресу на рослини тополі клону 'INRA 353-38' та верби клону 'Житомирська-1' в умовах культури *in vitro*.

**Матеріали і методи.** Чутливість до засолення гібридних тополі клону 'INRA 353-38' (*Populus tremula* × *P. tremuloides*) та верби клону 'Житомирська-1' (*Salix* sp.) оцінювали за дії хлориду натрію в культурі *in vitro*. Для проведення дослідження рослини мультиплікували шляхом мікроклонального розмноження та вирощували у пробірках на модифікованому середовищі МС (Murashige & Skoog medium, Duchefa, Нідерланди) із додаванням 0,1 мг/л індолілмасляної кислоти (IMK). Експериментальні рослини культивували на аналогічному середовищі з додаванням хлориду натрію у концентраціях 25, 50 та 100 мМ. Контрольні рослини вирощували на вільному від хлориду натрію середовищі. На кожен варіант висаджували по 10 рослин. Рослини культивували протягом 30 днів за температури 24 °C і 16-годинного фотоперіоду. Стан рослин, інтенсивність їх росту (за довжиною пагона) і коренеутворення (за кількістю коренів) оцінювали на 10-й та 30-й дні культивування. Стан рослин оцінювали за розробленою нами 4-бальною шкалою, де 0 балів – рослина повністю загинула; 1 бал – більшість листків та/або стебла засохли, проте частина рослини залишається живою, ріст значно пригнічений; 2 бали – невелика частина листків має слабкі ознаки в'янення чи підсихання, ріст дещо пригнічений; 3 бали – рослина без ознак в'янення чи підсихання, перебуває в найбільш активній ростовій стадії. Результати вимірювань опрацьовували з використанням пакету аналізу "MS Excel". Статистичну обробку результатів проводили з використанням t-критерію Стюдента, відхилення експериментальних варіантів від контрольних вважали статистично значущими при  $p < 0,05$ .

**Результати та їх обговорення.** За змінами висоти пагона рослин статистично достовірні відмінності від контрольних значень були помітні в обох клонів вже після 10 діб вирощування за концентрації 50 мМ солі в

поживному середовищі (рис. 1). На 30-ту добу дослідження у верби клону 'Житомирська-1' спостерігали повну загибель рослин, вирощених за концентрації 100 мМ NaCl (рис. 2). У рослин гібридної тополі клону 'INRA 353-38' після місяця вирощування на поживному середовищі, що містило 100 мМ хлориду натрію, некроз апікальної частини пагона продовжувався, але певна його частина залишилась життєздатною.

Значні зміни у процесах ризогенезу у верби клону 'Житомирська-1' були помітні вже за короткотривалої дії сольового стресу. На 10-ту добу культивування

рослин цього клону на поживному середовищі з 50 мМ хлориду натрію спостерігали статистично достовірне зменшення кількості коренів більше ніж у 2 рази порівняно з контрольними рослинами, а у рослин, вирощених за концентрації 100 мМ NaCl, виявлено повну відсутність коренів. При цьому за нормальних умов культивування верба характеризується високим ступенем коренеутворення. Статистично достовірних відмінностей у впливі досліджених концентрацій хлориду натрію на ризогенез у рослин гібридної тополі клону 'INRA 353-38' не виявлено (рис. 3).

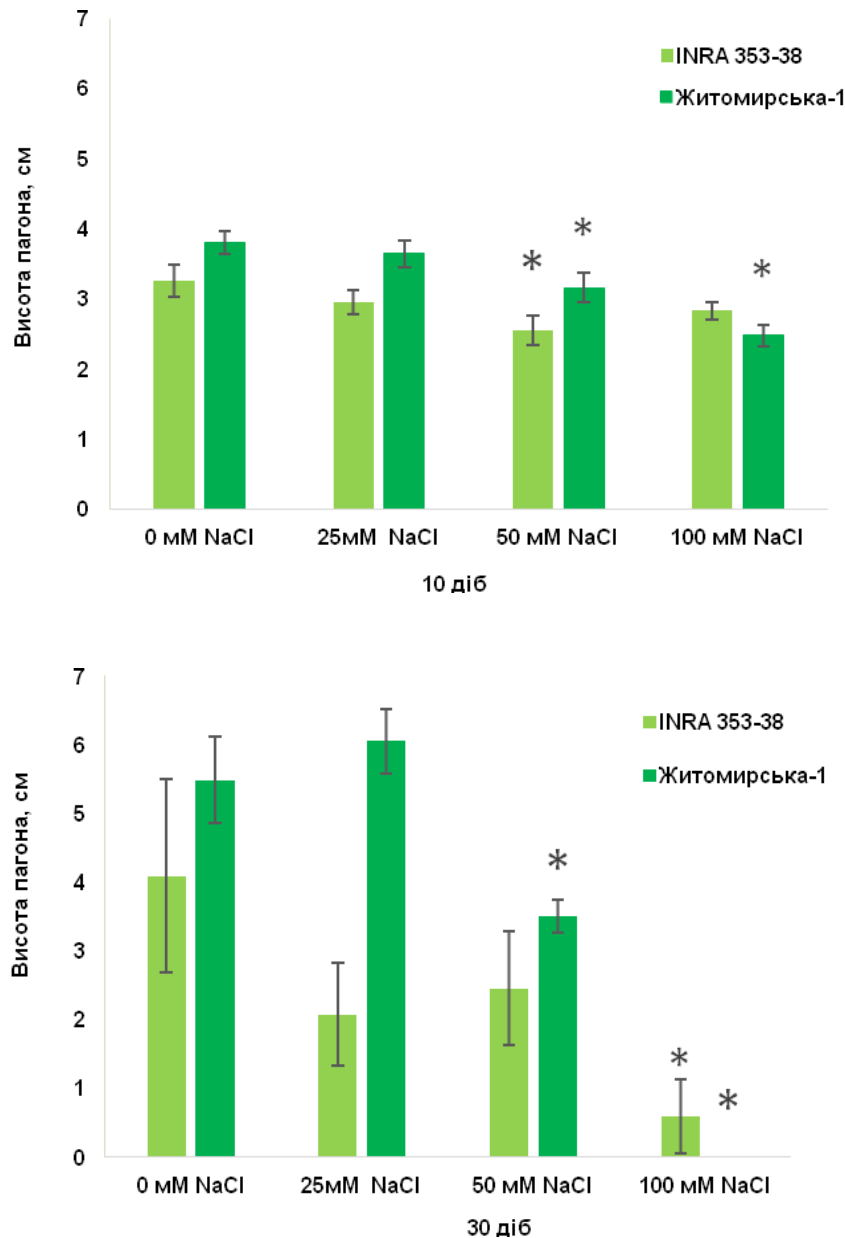


Рис. 1. Вплив хлориду натрію на висоту пагона ( $\pm$ SE) тополі 'INRA 353-38' та верби 'Житомирська-1' на 10-й (А) та 30-й (Б) день експерименту (\* –  $p < 0,05$ )

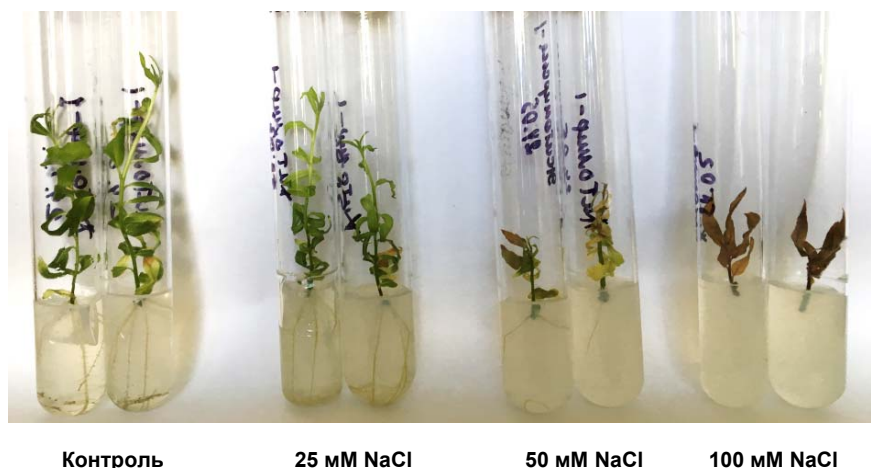


Рис. 2. Вплив хлориду натрію на вербу клону 'Житомирська-1' на 30-й день експерименту

За критерієм загального стану рослин після 30 днів культивування засолення поживного середовища сильніше впливало на вербу 'Житомирська-1' порівняно з тополею 'INRA 353-38'. Як видно з рис. 4, за найвищої

концентрації хлориду натрію в поживному середовищі всі рослини верби загинули, у той час як у гібридній тополі загальний стан хоч і погіршився значуще, проте частина пагонів залишилась життєздатною ( $1,3 \pm 0,2$  балів).

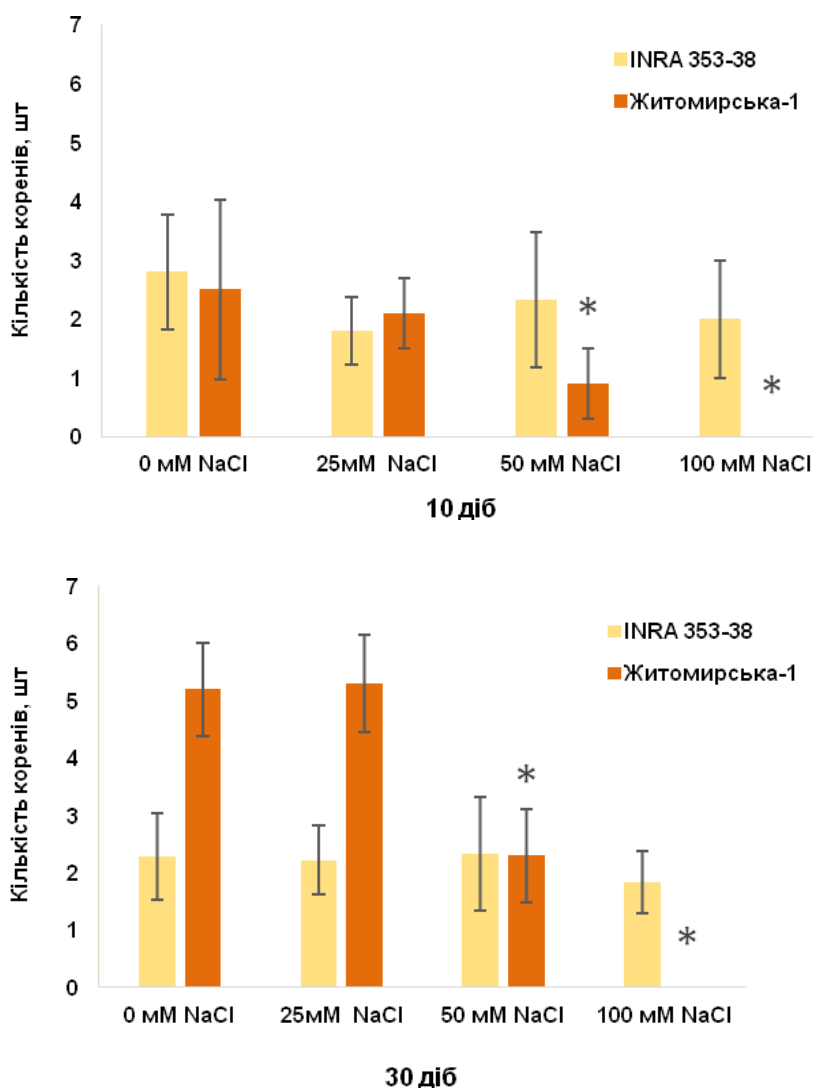


Рис. 3. Вплив хлориду натрію на коренеутворення (кількість коренів  $\pm$ SE) у тополі 'INRA 353-38' та верби 'Житомирська-1' на 10-й (А) та 30-й (Б) день експерименту (\* –  $p < 0,05$ )

Отже, як показали наші дослідження, в умовах культивування *in vitro* гібридна тополя клону 'INRA 353-38' виявляла дещо вищий рівень солестійкості порівняно з вербою 'Житомирська-1'. Раніше нами було оцінено чутливість гібридної тополі (*P. tremula* × *P. alba*) клону 'INRA 717-184', осики (*P. tremula*) та верби (*Salix alba* × *Salix fragilis*) клону 'Олімпійський вогонь' [24] і показано високий рівень толерантності верби клону 'Олімпійський вогонь' до дії хлориду натрію навіть після двох місяців культивування на середовищі з концентрацією NaCl 100 мМ [24]. У зв'язку з вищезазначеним вважаємо, що обидва вивчені клони характеризуються відносно невисокою солестійкістю в умовах культури *in vitro*.

Косаківська І. В. та Голов'янка І. В. [21] виділяють чотири стадії адаптації рослин за тривалої дії стресового фактора: 1) стадію відповіді, яка супроводжується відхиленнями від функціональної норми, зниженням

життєздатності, активацією катаболічних процесів порівняно з анаболічними; 2) стадію опору, для якої є типовими процеси адаптації і репарації та розвиток стійкості; 3) стадію виснаження, за якої має місце перевищення адаптаційного порогу, хронічне захворювання або загибель; 4) стадію регенерації, за якої організм частково або повністю адаптується з відновленням фізіологічних функцій після припинення дії стресу [21]. Обидва досліджені клони виявилися чутливими до засолення поживного середовища навіть у відносно невисоких концентраціях хлориду натрію. Проте ці клони показали різний ступінь адаптації до дії сольового стресу. Стадія опору була яскравіше виражена у гібридній тополі, де частина рослин залишилася життєздатною за найвищого рівня засолення, у той час як за таких умов усі рослини верби загинули.

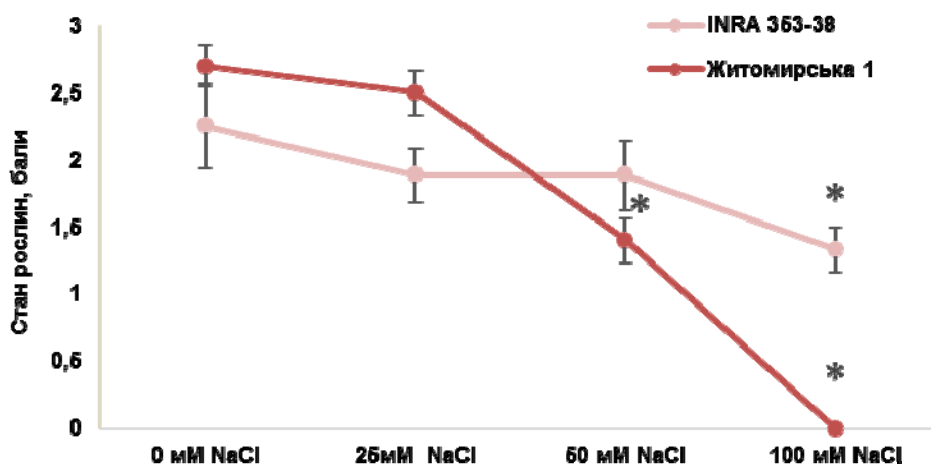


Рис. 4. Вплив хлориду натрію на загальний стан рослин ( $\pm$ SE) тополі 'INRA 353-38' та верби 'Житомирська-1' після 30 діб культивування (\* –  $p < 0,05$ )

Як бачимо, солестійкість рослин обумовлена генотипом, а отже, пошук клонів, стійких до дії сольового стресу, є важливим для ефективного використання маргінальних ґрунтів та озеленення мегаполісів [16]. Необхідно зауважити, що верба 'Житомирська-1' є високопродуктивним перспективним клоном, придатним для вирощування в біоенергетичних плантаціях [23]. Проте, як свідчить проведене дослідження, солестійкість цього клону може бути невисокою, що необхідно враховувати при плануванні насаджень.

Метод селекції в культурі *in vitro* дозволяє провести дослідження за надзвичайно короткий проміжок часу та у будь-яку пору року. Однак слід зазначити, що такі дослідження не повною мірою відображають реакцію рослин на стрес і процеси, що відбуваються в польових умовах, тому вони дозволяють робити лише попередні висновки і потребують підтвердження солестійкості клонів в умовах, наближених до природних.

**Висновки.** Отримані результати свідчать про високий рівень чутливості до хлориду натрію обох досліджених клонів за умов культури *in vitro*. Проте верба 'Житомирська-1' характеризувалася вищою чутливістю до сольового стресу порівняно з гібридною тополею клону 'INRA 353-38', оскільки ростові реакції у верби значно знижувалися вже за вмісту хлориду натрію в поживному середовищі 50 мМ, а за короткотривалої дії (10 днів) хлориду натрію у високій концентрації (100 мМ) усі рослини верби припиняли ріст і швидко

гинули. У гібридній тополі ростові реакції знижувалися впродовж місяця, переважно за найвищої концентрації хлориду натрію, проте навіть за таких умов частина пагонів залишалася життєздатною.

**ПОДЯКИ.** Автори висловлюють подяку заступнику директора Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України проф. Рахметову Д. Б. за надання живців верби клону 'Житомирська-1'. Робота виконувалася за підтримки цільової програми наукових досліджень НАН України "Біопаливні ресурси і біоенергетика" (2017–2021), проект "Створення генофонду високопродуктивних біоенергетичних трав'янистих та деревних культур як біопаливного матеріалу", а також за підтримки конкурсу Національного фонду досліджень України "Підтримка досліджень провідних та молодих учених" (проект № 84/02.2020).

#### Список використаних джерел

1. Blumwald E. Sodium transport and salt tolerance in plants / E. Blumwald // Curr. Opin. Cell Biol. – 2000. – Vol. 12. – P. 431–434.
2. Molecular bases of responses to abiotic stress in trees / M. Barcala, M. Matterna, C. Soliani et al. // J. of Experimental Botany. – 2019. – P. 1–15.
3. Chen S. Salinity tolerance of Populus / S. Chen, A. Polle // Plant Biol. – 2010. – Vol. 12. – P. 317–33.
4. FAO & IFAD. Status of the World's Soil Resources (SWSR) // Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. – Rome, Italy, 2015. – P. 648.
5. Fischer U., Polle A. Populus responses to abiotic stress / U. Fischer, A. Polle // Genetics and genomics of Populus / Springer. – 2010. – P. 225 – 246.

6. Flowers T. J. Breeding for salinity resistance in crop plants: where next? / T. J. Flowers, A. R. Yeo // Aust. J. Plant Physiol. – 1995. – Vol. 22. – P. 875–884.
7. Transcript identification and profiling during salt stress and recovery of *Populus euphratica* / R. Gu, S. Fonseca, L. Puskás et al. // Tree Physiol. – 2004. – Vol. 24. – P. 265–276.
8. Examining the salt tolerance of willow (*Salix* spp.) bioenergy species for use on salt-affected agricultural lands / R. D. Hangs, J. J. Schoenau, V. Rees et al. // Plant Sci. – 2011. – Vol. 91. – P. 509–517.
9. Plant cellular and molecular responses to high salinity / P. M. Hasegawa, R. A. Bressan, J. K. Zhu et al. // Ann. Rev. Plant Physiol. / Plant Mol. Biol. – 2000. – Vol. 51. – P. 463–499.
10. Jansson S. *Populus*: a model system for plant biology / S. Jansson, C. Douglas // Annu Rev Plant Biol. – 2007. – Vol. 58. – P. 435–58.
11. Expression of jasmonic ethylene responsive factor gene in transgenic poplar tree leads to increased salt tolerance / Y. Li, X. Su, B. Zhang et al. // Tree Physiol. – 2009. – Vol. 29, № 2. – P. 273–279.
12. Munns R. Mechanisms of salinity tolerance / R. Munns, M. Tester // Annu. Rev. Plant Biol. – 2008. – Vol. 59. – P. 651–681.
13. Rees V. Developing a national agroforestry and afforestation network for Canada / V. Rees // Policy Options. – 2008. – Vol. 29. – P. 54–57.
14. The genetic architecture of growth traits in *Salix matsudana* under salt stress / J. Zhang, H. Yuan, Q. Yang et al. // Hortic Res. – 2017. – Vol. 4. – P. 17024.
15. Beyond osmolytes and transporters: novel plant salt-stress tolerance-related genes from transcriptional profiling data / C. Sahi, A. Singh, E. Blumwald et al. // Physiol. Plant. – 2006. – Vol. 127. – P. 1–9.
16. Šerá B. Salt-tolerant trees usable for Central European cities – Review / B. Šerá // Horticultural Science. – 2017. – Vol. 44(1). – P. 43–48.
17. Teakle N. L. Mechanisms of Cl<sup>-</sup> transport contributing to salt tolerance / N. L. Teakle, S. D. Tyerman // Plant Cell Environ. – 2010. – Vol. 33. – P. 566–589.
18. Tester M. Davenport R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants / M. Tester, R. Davenport // Ann. Bot. – 2003. – Vol. 91. – P. 503–527.
19. Urbańska S. Impact of salts from winter road maintenance on selected properties of roadside soils / S. Urbańska, P. Obrzut, E. Ogiela // Infrastructure and ecology of rural areas. – 2016. – P. 1521–1534.
20. Екологічний стан ґрунтів України / С. Балюк, В. Медведєв, В. Мірошніченко та ін. // Український географічний журнал. – 2012. – С. 38–42.
21. Косаківська І. В. Адаптація рослин: біосинтез та функції стресових білків / І. В. Косаківська, І. В. Головянко // Український фітоценологічний збірник. – 2006. – С. 3–17.
22. Куцоконь Н. К. Основні напрямки генетичної трансформації представників роду *Populus* / Н. К. Куцоконь // Цитологія і генетика. – 2011. – № 6. – С. 67–78.
23. Ростові характеристики та енергопродуктивність тополь і верб у короткотривалій плантації за перший рік вегетації / Н. Куцоконь, Д. Рахметов, Л. Худолєєва та ін. // Біологічні системи. – 2017. – Т. 9. – Вип. 2. – С. 238–246.
24. Худолєєва Л. В. Порівняння солестійкості представників родів *Populus* і *Salix* в умовах *in vitro* / Л. В. Худолєєва, Н. К. Куцоконь // Science Rise: Biological Science. – 2018. – № 2(11). – С. 35–38.
4. FAO & IFAD. Status of the World's Soil Resources (SWSR) // Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome, Italy. 2015:648.
5. Fischer U., Polle A. *Populus* responses to abiotic stress. Genetics and genomics of *Populus*. Springer. 2010; 3:225 – 246.
6. Flowers T.J., Yeo A.R. Breeding for salinity resistance in crop plants: where next? Aust. J. Plant Physiol. 1995;22:875-884
7. Gu R., Fonseca S., Puskás L., et al. Transcript identification and profiling during salt stress and recovery of *Populus euphratica*. Tree Physiol. 2004;24:265–276.
8. Hangs R. D., Schoenau J. J., Rees V., et al. Examining the salt tolerance of willow (*Salix* spp.) bioenergy species for use on salt-affected agricultural lands. Can. J. Plant Sci. 2011; 91: 509–517.
9. Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K., et al. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 2000; 51:463–499.
10. Jansson S., Douglas C. *Populus*: a model system for plant biology. Annu Rev Plant Biol. 2007;58:435 – 58.
11. Li Y., Su X., Zhang B., Huang Q., et al. Expression of jasmonic ethylene responsive factor gene in transgenic poplar tree leads to increased salt tolerance. Tree Physiol. 2009; 29 (2): 273–279.
12. Munns R., Tester M. Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol. 2008; 59:651-681.
13. Rees V. Developing a national agroforestry and afforestation network for Canada. Policy Options. 2008; 29:54-57.
14. Zhang J., Yuan H., Yang Q., et al. The genetic architecture of growth traits in *Salix matsudana* under salt stress. Hortic Res. 2017; 4:17024.
15. Sahi C., Singh A., Blumwald E., et al. Beyond osmolytes and transporters: novel plant salt-stress tolerance-related genes from transcriptional profiling data. Physiol. Plant. 2006; 127:1-9
16. Šerá B. Salt-tolerant trees usable for Central European cities – Review. Horticultural Science. 2017; 44(1): 43-48.
17. Teakle N.L., Tyerman S.D. Mechanisms of Cl<sup>-</sup> transport contributing to salt tolerance. Plant Cell Environ. 2010; 33:566-589.
18. Tester M., Davenport R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. Ann. Bot. 2003; 91:503-527.
19. Urbańska S., Obrzut P., Ogiela E. Impact of salts from winter road maintenance on selected properties of roadside soils. Infrastructure and ecology of rural areas. 2016; 1521 – 1534.
20. Balyuk S., Medvedev V., Miroshnichenko V., et al. Ecological condition of soils of Ukraine. Ukrainian Geographical Journal. 2012; 38-42.
21. Kosakivska I., Golovyanko I. Adaptation of plants: biosynthesis and functions of stress proteins. Ukrainian phytocenological collection. 2006; 3-17.
22. Kutsokon N. The main directions of genetic transformation of the genus *Populus*. Cytology and Genetics. 2011; 6:67-78.
23. Kutsokon N., Rakhmetov D., Khudoleieva L. et al. Growth characteristics and energy productivity of poplars and willows under short rotation planting for the first vegetation year. Biological systems. 2017; 9 (2):238-246.
24. Khudoleeva L., Kutsokon N. Comparison of salt resistance of representatives of the genera *Populus* and *Salix* *in vitro*. Science Rise: Biological Science. 2018; 2 (11):35-38.

#### References (Scopus)

1. Blumwald E. Sodium transport and salt tolerance in plants. Curr. Opin. Cell Biol. 2000;12:431-434.
2. Barcala M., Mattera M., Soliani C., et al. Molecular bases of responses to abiotic stress in trees. Journal of Experimental Botany. 2019; 1-15.
3. Chen S., Polle A. Salinity tolerance of *Populus*. Plant Biol. 2010;12: 317 – 33.

Ю. Хома, асп.,  
Л. Худолєєва, канд. биол. наук,  
Н. Куцоконь, канд. биол. наук  
Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев, Украина

### ВЛИЯНИЕ СОЛЕВОГО СТРЕССА НА РАСТЕНИЯ ТОПОЛЯ КЛОНА "INRA 353-38" И ИВЫ КЛОНА 'ЖИТОМИРСКАЯ-1' В УСЛОВИЯХ КУЛЬТУРЫ *IN VITRO*

Засоление почвы является важным абиотическим фактором, отрицательно влияющим на рост, развитие и продуктивность растений. Быстрорастущие деревья тополя и ивы являются важными биоэнергетическими растениями, проявляющими разную степень адаптации к различным средам обитания. Исследование солеустойчивости различных клонов тополь и ив позволит выявить генотипы, которые можно выращивать на засоленных почвах с использованием биомассы в биоэнергетической отрасли. В связи с этим целью работы было изучение влияния солевого стресса на растения тополя клона 'INRA 353-38' (*Populus tremula* × *P. tremuloides*) и ивы клона 'Житомирская-1' (*Salix* sp.) в условиях культуры *in vitro*. Для проведения исследования растения культивировали на питательной среде на основе солей МС с добавлением хлорида натрия в концентрациях 25, 50 и 100 мМ. Контрольные растения выращивали на среде, свободной от хлорида натрия. Состояние растений (по 4-балльной шкале), интенсивность их роста (по длине побега) и корнеобразование (по количеству корней) оценивали на 10-й и 30-й дни культивирования. Полученные результаты свидетельствуют о высоком уровне чувствительности к хлориду натрия обоих клонов в условиях культуры *in vitro*. Однако ива 'Житомирская-1' характеризовалась более высокой чувствительностью к солевому стрессу по сравнению с тополем клона 'INRA 353-38', поскольку ростовые реакции у ивы значительно снижались уже при содержании хлорида натрия в среде 50 мМ, а при кратковременном действии (10 дней) высокой концентрации хлорида натрия (100 мМ) у всех растений ивы рост останавливался и они быстро погибали. У гибридного тополя ростовые реакции снижались на протяжении месяца, в основном при наивысшей концентрации хлорида натрия, но даже в таких условиях часть побегов оставалась жизнеспособной.

Ключевые слова: тополь (*Populus*), ива (*Salix*), солевой стресс, культура *in vitro*.

Надійшла до редколегії 7.10.2020  
Отримано виправлений варіант 9.11.2020  
Підписано до друку 9.11.2020

Received in the editorial 7.10.2020  
Received a revised version on 9.11.2020  
Signed in the press on 9.11.2020

Yu. Khoma, PhD stud.,  
L. Khudolieieva, PhD,  
N. Kutsokon, PhD

Institute of Cell Biology and Genetic Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

### INFLUENCE OF SALT STRESS ON PLANTS OF POPLAR CLONE 'INRA 353-38' AND WILLOW CLONE 'ZHYTOMYRSKA – 1' IN IN VITRO CULTURE

Soil salinization is an important abiotic factor negatively affecting plant growth, development and productivity. Fast-growing poplar and willow trees are important plants for bioenergy production demonstrating varying degrees of adaptation to different habitats. The study of salt resistance in different clones of poplars and willows will reveal genotypes that can be planted in saline soils for producing biomass for the bioenergy industry. Therefore, the aim of the study was to investigate the effects of salt stress on poplar plants of clone 'INRA 353-38' (*Populus tremula* × *P. tremuloides*) and willow clone 'Zhytomyrska – 1' (*Salix* sp.) under in vitro culture. For this purpose the plants were cultivated on MS nutrient medium with the addition of sodium chloride in concentrations 25 mM, 50 mM and 100 mM. The control plants were grown on the sodium chloride-free medium. The plant status (with a 4-score scale), the intensity of their growth (by shoot length) and rooting capacity (by the number of roots) were assessed on the 10th and the 30th day of cultivation. The results obtained indicate a high level of sensitivity to sodium chloride of both studied clones under in vitro cultivation. But the willow 'Zhytomyrska – 1' had a higher sensitivity to salt stress comparing to hybrid polar 'INRA 353-38' since growth parameters of willow were significantly decreased even under the concentration of sodium chloride 50 mM, and in the case of short term influence (10 days) of the highest concentration of sodium chloride (100 mM) all willow plants terminated their growth and quickly died. The growth parameters of hybrid poplar were declined within a month, mainly under the highest concentration of sodium chloride, but even under such conditions some part of the shoots were able to survive.

Keywords: poplar (*Populus*), willow (*Salix*), salt stress, in vitro culture.

УДК 581.9 (477.41)

DOI 10.17721/1728\_2748.2020.83.49-55

В. Коломійчук, д-р біол. наук  
Ботанічний сад ім. акад. О. В. Фоміна, Навчально-науковий центр "Інститут біології та медицини",  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна,  
О. Баранський, канд. біол. наук  
Національний ботанічний сад ім. акад. М. М. Гришка НАН України, Київ, Україна

### ФЛОРА ТА РОСЛИННІСТЬ ІРПІНСЬКОГО ЛІСУ

Охарактеризовано фіторізноманіття цінного масиву Ірпінського лісу в Київській області. Наведено дані про історію досліджень цієї цікавої у ботанічному сенсі території Київського Полісся. Наведено особливості рослинності різних комплексів цього лісового масиву, де переважають соснові ліси, злакові та мохово-лишайникові. Найбільш цінними тут є дубові ліси, насичені рідкісними трав'янистими видами рослин. Також на понижених формах рельєфу фрагментарно поширені вільшняки. Подано дані щодо флори цієї території, яка нараховує 437 видів судинних рослин із 67 родин та 4 відділів. Десять провідних родин флори (*Asreaceae*, *Roaceae*, *Rosaceae* та ін.) об'єднують 51,1 % видів флори лісу. Зазначено високий рівень адвентизації цієї флори (19,6 %), що розвинувся внаслідок доступності території та значної кількості населення прилеглих населених пунктів. До видів із високим рівнем інвазійної здатності належать *Amorpha fruticosa* L., *Iva xanthiifolia* Nutt., *Erigeron annuus* (L.) Desf., *Galinsoga parviflora* Cav., *Oenothera biennis* L., *Oxalis stricta* L., *Reynoutria japonica* Houtt., *Solidago canadensis* L., *Solanum nigrum* L. Вони найчастіше зустрічаються уздовж лісових доріг, на галявинах, у місцях проведення вибіркового рубок, на узліссях. По периферії лісового масиву виявлено низку здичавілих із культури інтродуцентів – *Berberis aquifolium* Pursh, *Datura stramonium* L., *Gaillardia pulchella* Foug., *Ricinus communis* L., *Vitis vinifera* L. Наведено дані щодо фітораруптентів цієї території. Тут зазначені 34 раритетні таксони, з яких найбільшу цінність мають представники родин *Orchidaceae*, *Ranunculaceae*, *Roaceae*. П'ять видів рослин цього лісу (*Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó, *D. incarnata* (L.) Soó, *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Pulsatilla patens* (L.) Mill. s.l.) занесені до Червоної книги України. Запропоновано створити на частині цієї території новий об'єкт природно-заповідного фонду Київської області – регіональний ландшафтний парк "Потоки", згодом – адміністрацію, службу охорони і розробити менеджмент-план щодо управління ресурсами цього об'єкта.

Ключові слова: флора, рослинність, Ірпінський ліс, Київське Полісся, Україна.

**Вступ.** Серед лісової рослинності Українського Полісся мішані та широколистяні ліси південних районів краю найбільш флористично багаті, оскільки вони приурочені до родючіших ґрунтів, порівняно з лісами північних районів Полісся, і межують на півдні із флористично багатими широколистяними лісами лісостепових районів.

Згідно із сучасним фізико-географічним районуванням територія нашого дослідження – масив Ірпінського лісу – розташована в межах Здвизько-Ірпінського району фізико-географічної області Київського Полісся, мішано-лісової, хвойно-широколистої помірно теплої зони [6]. За геоботанічним районуванням України масив Ірпінського лісу розташований у Київському правобережному окрузі грабово-дубових, дубових, дубово-соснових лісів, заплавної луки і евтрофних боліт Поліської підпровінції хвойно-широколистяних лісів Східноєвропейської провінції Європейської широколистянолісової області [4].

Відповідно до гербарних даних (KW, KWHU, KWHA) і літературних свідчень (Флора УРСР) цей лісовий масив досліджували на початку ХХ ст. Ю. М. Семенкевич, у 1930-60-ті роки – М. В. Клоков, О. М. Дубовик, Д. М. Доброчаєва, С. С. Харкевич, у 1970-80-ті – М. М. Бортняк, В. Г. Собко, Т. Л. Андрієнко, С. Л. Мосякін

[1, 3, 9, 12]. Однак ці дослідження мають фрагментарний характер. Мета нашої роботи – схарактеризувати флору та рослинність Ірпінського лісу з подальшим обґрунтуванням переведення найбільш цінної частини лісового масиву в категорію природоохоронної території.

**Об'єкт та методи досліджень.** Масив Ірпінського лісу розташований на плакорній ділянці в межиріччі Ірпеня та Бучі. На півночі та північному сході він межує з м. Ірпнем, на північному заході відмежовується заплавою р. Буча, на заході межує із с. Забуччям, на сході відмежовується заплавою р. Ірпін, а на півдні межує із сс. Стоянкою, Капітанівкою, Дмитрівкою Києво-Святошинського району Київської області. Північно-східна ділянка лісу перебуває у власності Ірпінської міської ради, а більша (південно-західна) підпорядкована ДП "Київське лісове господарство" (Ірпінське та Приміське лісництва).

В основу роботи покладено власні ботанічні дослідження, проведені маршрутно-польовими та геоботанічними методами у 2013, 2015, 2018–2020 рр. Під час досліджень складено геоботанічні описи в межах кожного виділу лісу. Зібраний гербарій рослин передано у фонди Національного ботанічного саду НАН України.