

DOI 10.32999/ksu2524-0838/2020-28-5

УДК: 504.064

Кундельчук О.П., Маюня І.М.,  
Семенюк С.К., Акімова М.О.

## ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНОГО РИЗИКУ ВИКОРИСТАННЯ ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ, ЯКІ ГЕНЕРУЮТЬ УЛЬТРАЗВУК, ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ БІОТЕСТУВАННЯ

Херсонський державний університет, м. Херсон, Україна  
e-mail: kundelchuk@mail.univ.kiev.ua; i0669481465@gmail.com;  
mrssemenyuk@gmail.com; akimova1993@ukr.net

*Відомо, що техногенні ультразвуки спроможні негативно впливати на живі організми і, зокрема, на організм людини. Однак, серед побутових приладів, які пропонуються споживачам, є ультразвукові відлякувачі комах і гризунів, які, згідно інструкції виробників, дозволяється використовувати в житлових приміщеннях протягом тривалого часу через передбачувану відсутність функціонального впливу на живі організми. Оскільки вухо людини не спроможне сприймати ультразвуки, використання побутових приладів, які генерують пружні механічні хвилі означеного типу, може становити потенційну небезпеку для здоров'я споживачів, зокрема, через недоброчесність виробників, прилади яких не відповідають діючим гігієнічним нормативам. При цьому слід зазначити, що фізичні прилади, які реєструють рівень ультразвукового тиску в навколишньому середовищі, є не доступними для пересічних споживачів.*

*У зв'язку з вище викладеним, для виявлення можливого функціонального впливу ультразвуків від означених побутових приладів на живі організми, нами пропонується використовувати ростовий фітотест, оскільки рослини, як і інші живі організми, є високочутливими до пружних механічних хвиль ультразвукового діапазону частот.*

*В ході проведеного нами дослідження, проростаюче насіння ячменю (*Hordeum vulgare*) піддавали впливу ультразвуків від побутового відлякувача комах «Яструб МТ.04» (частота ультразвуків 30-35 кГц, рівень звукового тиску 90-110 дБ) тривалістю 12 год або 24 год щоденно протягом 4-х діб за умови експозиції на відстані 1 м безпосередньо перед приладом або за тканинною шторою. Проведені дослідження показали, що ультразвуки від побутового відлякувача комах «Яструб МТ.04» достовірно гальмували ріст коренів і епикотилів проростків ячменя і рівень цього гальмування залежав від тривалості експозиції проростків у присутності ультразвуків. При цьому, згідно з Міждержавними санітарними правилами і нормами МСанПіН 001-96, інтенсивність ультразвуків, які генеруються відлякувачем комах «Яструб МТ.04», перевищує безпечні гігієнічні нормативи для людини, які становлять 100 дБ.*

*Таким чином, отримані нами дані свідчать про наявність функціонального впливу ультразвуків, інтенсивність яких перевищує діючі нормативи, на клітини рослин, що дозволяє використовувати ростовий фітотест для оцінки потенційної безпеки використання приладів означеного типу пересічними споживачами.*

**Ключові слова:** побутовий ультразвуковий відлякувач комах, безпека людини, ростовий фітотест.

Kundelchuk O. P., Mayunya I. M.,  
Semeyuk S. K., Akimova M. O.

## EVALUATION OF THE POTENTIAL RISK FOR EXPLOITATION OF THE HOUSEHOLD APPLIANCES, WHICH ARE EMITTED THE ULTRASOUND WAVES, BY USING BIOTESTING METHODS

*It is known that man-made ultrasounds are capable of adversely affecting living organisms, and in particular the human body. However, among household appliances offered to consumers are ultrasonic scarers of insects and rodents, which, according to the manufacturer's instructions, are allowed to be used in living quarters for a long time due to the presumed lack of functional effects on living organisms. Since the ear of a person is not able to perceive ultrasounds, the use of household appliances that generate elastic mechanical waves of a certain type, can pose a potential danger to the health of consumers, in particular, due to the dishonesty of manufacturers whose devices do not meet the current hygiene standards. At the same time, it should be noted that physical instruments that record the level of ultrasonic pressure in the environment are not accessible to ordinary consumers.*

*In view of the foregoing, we propose to use seedling growth phyto-test to detect the possible functional influence of ultrasound from these household appliances on plants, as plants, like other living organisms, are highly sensitive to ultrasonic waves.*

*In the course of our study, the germinating seeds of barley (*Hordeum vulgare*) were exposed to ultrasound waves from the domestic appliance insect repellent «Hawk MT.04» (ultrasound frequency 30-35 kHz, sound pressure level 90-110 dB) to 12 h or 24 h daily during 4 days at a distance of 1 m directly in front of the appliance or behind a fabric curtain. It was shown that ultrasound waves from the domestic appliance insect repellent "Hawk MT.04" significantly inhibited the growth of roots and epicotyls of barley seedlings and the level of this inhibition depended on ultrasound duration of exposure. According to the Interstate Sanitary Rules and Standards MSanPin 001-96, the intensity of ultrasound waves generated by the domestic appliance «Hawk MT.04» exceeds safe hygiene standards for humans, which are 100 dB.*

*Thus, the data obtained by us indicate the presence of functional influence of ultrasound, the intensity of which exceeds the current standards, on the cells of plants, which allows the use of seedling growth phytotest to assess the potential safety the devices of this type to consumers.*

**Keywords:** household ultrasonic insect repellent, human safety, growth phytotest.

У процесі роботи багатьох побутових приладів створюються не тільки звуки, але також інфразвуки і ультразвуки, які не сприймаються вухом людини. Оскільки вплив зазначених фізичних факторів може бути не сприятливим для здоров'я людини, то рівні пружних механічних хвиль, випромінюваних побутовими приладами (шумів, інфразвуків, ультразвуків і вібрацій) нормуються Санітарними нормами і правилами МСанПиН 001-96 [1].

Крім того, деякі побутові прилади генерують ультразвуки, які задіяні в процесі роботи відповідних приладів. Зокрема, ультразвуки різної частоти та інтенсивності використовуються в процесі роботи ультразвукових відлякувачів для комах і гризунів, ультразвукових свистків для собак, ультразвукових зволожувачів повітря в приміщеннях і т.н. Інструкції до відповідних приладів інформують користувачів про безпеку використання зазначених приладів для здоров'я. Зокрема, ультразвукові відлякувачі комах

рекомендують розміщувати в житлових приміщеннях і експлуатувати цілодобово протягом значних проміжків часу.

У ряді досліджень було встановлено, що навіть ультразвуки, рівень яких не перевищує гігієнічні нормативи, здатні негативно впливати на живі організми. Зокрема, було показано, що ультразвуки, параметри яких не перевищують встановлені для побутових приладів нормативи, в залежності від частоти та інтенсивності: впливають на функціонування клітин мозку людини зокрема через вплив на мікротрубочки нейронів, які, резонують в межах частот 8 МГц [12]; сприяють поділу клітин людини і при цьому виявлено появу трьохполюсних мітозів і анеуплоїдії внаслідок шкідливого впливу ультразвуку на мікротрубочки [14]; викликають кластогенні і анеугенні ефекти в геномі фібробластів людини [39]; впливають на експресію генів, задіяних в стабілізації мікротрубочок [14] і у формуванні актинових стресових фібрил [27], а також генів, пов'язаних з реалізацією програми на самознищення клітин [10]; ультразвуки, навіть не значної інтенсивності, викликають пошкодження ДНК і запускають апоптоз в клітинах людини [28, 35]; при хронічному впливі низько-інтенсивний безперервний ультразвук сприяє генеруванню в клітинах реактивних форм кисню, які в свою чергу призводять до пошкодження ДНК, що запускає програму на самознищення клітин [4, 41].

Негативні ефекти допустимих для побутових приладів рівнів ультразвуку були виявлені не тільки на клітинах людини і тварин, але й на клітинах бактерій, грибів і рослин. Найбільш значущі феномени склалися в підвищенні проникності клітинних мембран і в зміні експресії генів, які відповідають за захист організмів від пошкоджень. Так, проведені дослідження показали, що ультразвуки підвищують проникність мембран і посилюють процеси кон'югації у бактерій, змінюють експресію генів, які відповідають за процеси горизонтального перенесення генетичного матеріалу, що, в підсумку, сприяє потраплянню чужорідних генів в клітини бактерій (наприклад, генів стійкості до антибіотиків, генів токсинів і т.н.) [37]; ультразвуки підвищують проникність мембран гіфів грибів, активують у грибів експресію генів, що відповідають за біосинтез антибіотика гіпокреліна А, який захищає гриби від бактерій, найпростіших, дріжджових грибів, і активують гени-транспортери для виведення антибіотика з гіфів гриба [38].

У рослин ультразвуки в залежності від частоти, інтенсивності і тривалості впливу спроможні призводити до регенерації пагонів у експлантів рослин в культурі *in vitro* [3, 25], до підвищення енергії проростання насіння і посилення подальшого росту проростків [17, 20, 47] або до пригнічення росту коренів проростків [11, 15, 24], до гальмування поділу клітин в кореневих меристемах [23], до збільшення кількості хромосомних аберацій в кореневих меристемах [11, 15], до пригнічення синтезу ДНК, РНК і білків в меристематичних клітинах коренів [22], до невіральної трансформації рослинних клітин генними конструкціями внаслідок підвищення проникності клітинних мембран [20], до активації в клітинах рослин захисних механізмів: синтезу поліамінів [32], вторинних метаболітів [13], калози [8] і антиоксидантних ензимів [7].

Таким чином, ультразвук є біологічно ефективним фізичним фактором, який спроможний впливати на життєво важливі процеси в клітинах організмів усіх рівнів організації. При цьому характер означеного впливу залежить від частоти і тривалості впливу ультразвуків на організм. У зв'язку з вищевикладеним постає питання, наскільки інтенсивність і частота ультразвуків, які використовуються в сертифікованих побутових приладах, є біологічно безпечними на функціональному рівні, а не тільки дискомфорфтними для нервової системи комах і гризунів, як вказується в інструкціях до відповідних приладів.

Крім того, небезпеку для здоров'я споживачів можуть становити прилади, параметри функціонування яких не відповідають діючим нормативам через недобросовісність виробників. При цьому слід зазначити, що вухо людини не спроможне сприймати ультразвукові хвилі, що не дозволяє свідомо контролювати існуючу ситуацію, а фізичні прилади, які вимірюють рівень ультразвукового тиску в навколишньому середовищі, є недоступними для пересічних споживачів. Нещодавно в інтернет-мережі у вільному доступі з'явилися електронні додатки «Ultrasound Detector» до мобільних телефонів класу «Android», які, згідно інструкціям, забезпечують детекцію ультразвуків в навколишньому середовищі. Проте, внаслідок конструкційних обмежень мобільних телефонів вони не спроможні сприймати ультразвуки, частота яких перевищує 22–25 кГц, що може дезінформувати споживачів щодо безпеки приладів, якими вони користуються.

Зазвичай, рівень безпеки умов середовища для живих організмів визначається за допомогою методів біотестування з використанням різних модельних організмів, серед яких є і рослини, які, внаслідок специфіки способу життя, є високочутливими до дії факторів навколишнього середовища. Аналіз літературних даних свідчить про те, що у відповідь на експозицію на техногенних ультразвуках, рослини спроможні демонструвати як позитивну, так і негативну ростову реакцію. Таким чином, виявлення в ході експериментів будь-якого типу ростової відповіді порівняно з контролем буде свідчити про те, що інтенсивності і частоти ультразвуків, які генеруються побутовими приладами, здатні запускати в клітинах каскади сигнальних реакцій, що при тривалій експозиції може представляти потенційний ризик для живих організмів і, зокрема, для людини.

У зв'язку з вищевикладеним, метою даного дослідження було встановити можливість адаптації класичного ростового фітотесту для отримання висновків про потенційну безпеку для споживачів щоденного використання побутових приладів, які генерують ультразвуки.

#### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Насіння ячменю (*Hordeum vulgare*) пророщували протягом 4-х днів при температурі +22°C у відкритих ч. Петрі на водопровідній кип'яченій воді на відстані 1,0 м від приладу «Яструб МТ.04», який відлякує комах (частота ультразвуку 30-35 кГц, рівень звукового тиску 90-110 дБ, режим роботи приладу – безперервний сигнал), а також в умовах екранування ультразвуків від приладу за допомогою щільної тканинної штори. Пророщування здійснювали при режимі освітленості 12 год світло / 12 год темрява.

Було проведено дві серії експериментів. У першій серії – на проростки діяли ультразвуком протягом 12 год щоденно тільки в світлову фазу пророщування (12 год світло); при цьому під час темної фази пророщування (12 год темрява) ч. Петрі були накріті дерев'яними коробками, які екранувати проростки від ультразвукового впливу. В другій серії експериментів - на проростки впливали ультразвуком протягом 24 годин щоденно.

На 4-у добу пророщування підраховували кількість пророслого насіння і вимірювали довжину коренів (найдовшого кореня в мочкуватій кореневій системі) і епікотилів проростків. На підставі отриманих даних розраховували енергію проростання насіння, а також середню довжину коренів і епікотилів проростків. Всі дані статистично оброблялися із застосуванням критерію Стьюдента.

#### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Отримані в результаті проведеного дослідження дані свідчать про те, що в умовах екранування проростків тканинною шторою від ультразвуку середня довжина коренів була більшою, в порівнянні з неекранованими проростками:  $17,33 \pm 2,14$  мм і  $14,49 \pm 1,71$

мм за відсутності штори і  $22,63 \pm 2,94$  мм і  $21,95 \pm 2,49$  мм при екрануванні шторою при тривалості експозиції на ультразвуках 12 год та 24 год, відповідно. Таким чином, ультразвук від приладу «Яструб МТ.04» достовірно гальмував ріст коренів проростків ячменю. При цьому ступінь гальмування росту корелювала з тривалістю ультразвукового впливу: середня довжина коренів при щоденній експозиції на ультразвуку по 12 годин була достовірно більшою в порівнянні з щоденною експозицією по 24 години.

Проведені дослідження також показали, що ультразвук спроможний гальмувати ріст епикотилів проростків ячменю. За відсутності тканинної штори середня довжина епикотилів проростків склала  $18,50 \pm 2,62$  мм і  $15,38 \pm 1,41$  мм при щоденній експозиції на ультразвуках 12 год та 24 год, відповідно. Тоді як за наявності штори -  $23,28 \pm 2,40$  мм і  $22,15 \pm 2,26$  мм, при щоденній експозиції на ультразвуках 12 год та 24 год, відповідно. Слід зазначити, що щоденний вплив ультразвуком протягом 24 годин мав більш значний інгібуючий вплив на ріст епикотилів, в порівнянні зі щоденною експозицією по 12 год (відмінності між значеннями середньої довжини епикотилів – статистично достовірні).

*Таблиця 1.*

**Вплив ультразвукового навантаження на ріст коренів і епикотилів проростків ячменю при різній тривалості ультразвукового впливу**

Варіант експерименту:	Довжина коренів $\pm Sx \cdot t_{st}$ , мм	Довжина епикотилів $\pm Sx \cdot t_{st}$ , мм	Енергія проростання, %
Тривалість ультразвукового впливу 12 год щодня в світлий час доби:			
Ультразвук без штори:	$17,33 \pm 2,14$	$18,50 \pm 2,62$	24,0 %
Ультразвук + тканинна штора:	$22,63 \pm 2,94^*$	$23,28 \pm 2,40^*$	19,0 %
Тривалість ультразвукового впливу 24 год щодня:			
Ультразвук без штори:	$14,49 \pm 1,71\%$	$15,38 \pm 1,41\%$	17,0 %
Ультразвук + тканинна штора:	$21,95 \pm 2,49^*$	$22,15 \pm 2,26^*$	19,5 %

\* - результати достовірно відрізняються від пророщування в умовах відсутності штори між приладом і ч. Петрі з проростками; § - результати достовірно відрізняються від пророщування в умовах відсутності штори між 12 год і 24 год впливу ультразвуком.

**ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ**

Для виявлення можливого біологічного ефекту ультразвуків, які генеруються відлякувачем комах «Яструб МТ.04» (частота 30-35 кГц, рівень звукового тиску в приміщенні 90-110 дБ), нами було проведено тестування впливу даного приладу на проростання насіння і ріст проростків ячменю. Отримані дані свідчать про те, що ультразвуковий вплив приладу «Яструб МТ.04» при щоденній експозиції протягом 12 год і 24 год призводить до гальмування росту коренів і епикотилів проростків ячменю.

Однією з важливих форм відповіді рослин на мінливі умови навколишнього середовища є ростова відповідь. У сприятливих умовах - рослини посилюють ростові процеси, а в несприятливих - гальмують. При цьому гальмування росту може починатися при рівні впливу стресового чинника, який ще не пошкоджує клітини і тканини рослин (тобто може мати місце регуляторне, а не травматичне гальмування росту).

Відомо, що слабкий ультразвуковий вплив (ультра звуковий тиск 75 дБ при частоті ультразвуку 20 кГц по 3 години на день протягом декількох днів) здатний стимулювати ростові процеси у рослин [32]. Тоді як вплив ультразвуків більш високої частоти та інтенсивності (1-5 МГц, потужність 0,1-16,0 Вт/см<sup>2</sup>, ультразвуковий тиск 150-170 дБ,



тривалість впливу в межах кількох хвилин – це рівень ультразвуку, який використовується в медичній діагностиці) – гальмує ріст рослин, що супроводжується пошкодженням ДНК, порушенням поділу клітин і т.н. [11, 15, 23, 24].

Однак, крім травматичного гальмування росту, рослини також здатні і до регуляторного уповільнення росту у відповідь на вплив ультразвуку. Зокрема, було встановлено, що в присутності звуків і ультразвуку змінюється гормональний баланс рослин: під впливом звуків відбувається зростання концентрації рістстимулюючих гормонів ауксинів, а під впливом ультразвуку – зниження концентрації ауксинів [40, 42], що говорить на користь регуляторного впливу різних акустичних і надакустичних частот на рослини.

В природних умовах, як вдень, так і вночі, з ультразвуками стикаються, як правило, ті частини рослин, які виявляються на поверхні, оскільки джерелами ультразвуку є деякі наземні атмосферні процеси, а також – наземні тварини, які широко використовують ультразвуки в діапазонах частот від 20 кГц до 80 кГц як для внутрішньовидового спілкування [6, 9, 26, 33, 36], так і для полювання [2, 6].

Таким чином, і для коренів, і для пагонів рослин ультразвук може бути сигналом знаходження даного органу рослини на поверхні землі. У зв'язку з цим, цілком можливим є те, що механосенсорні системи рослин сприймають ультразвук як сигнал присутності пагонів і коренів рослин на наземній поверхні, а не в ґрунті, що, відповідно, гальмує їх ріст. Крім того, проведені рядом наукових груп дослідження свідчать про те, що рослини самі здатні генерувати ультразвуки досить високого ультразвукового тиску в діапазоні частот від 20 кГц до 300 кГц; при цьому утворення надакустичних сигналів рослинами відбувається в результаті кавітації пухирців газів в їх судинних елементах [18, 29, 30].

Спочатку, після виявлення генерування рослинами ультразвуку, була висловлена гіпотеза, згідно з якою ультразвуки випромінюються в умовах посухи і раннього пошкодження як результат механічної кавітації газових пухирців в провідній системі рослин [16, 31]. При цьому дані ультразвуки можуть сприйматися сусідніми рослинами як регуляторні сигнали гальмування росту [16].

Однак, подальші дослідження показали, що, як правило, рослини генерують ультразвуки не через травматичну кавітацію: ультразвуки рослин викликані в основному формуванням і подальшим схлопуванням газових пухирців в ксилемних каналах, здатних транспортувати воду під час перистальтичних хвиль [18]. Найбільше ультразвуки рослини генерують в інтервалі 10-14 годин дня [29]. Синхронне випромінювання ультразвуку усіма клітинами рослини здатне створювати досить потужний ультразвуковий тиск на частотах 150 – 200 кГц [30].

Дослідження, проведені *Zweifel R.* і *Zeugin F.* (2008) [48], дозволили виявити циркадіанний (добовий) ритм генерування ультразвуку рослинами. При цьому мінімальний звуковий тиск ( $27 \pm 1$  дБ) створювався вночі і до сходу сонця, а максимальний ( $36 \pm 1$  дБ) – вдень, після сходу сонця. Подальші дослідження показали, що добове зростання інтенсивності ультразвуку, які генеруються рослинами, чітко корелює з добовим посиленням руху соку по рослині [48].

Отримані *Zweifel R.* і *Zeugin F.* (2008) [48] дані свідчать про те, що в природних умовах мають місце добові відмінності в інтенсивності ультразвуку, які генеруються рослинами, максимума яких припадають на світлий час доби. Цілком можливо, природний добовий цикл ультразвукових вібрацій є одним з регуляторних сигналів, що впливають на інтенсивність добових процесів в коренях, які не мають доступу до видимого світла для встановлення часу доби. Таким чином, ультразвукові вібрації від приладу «Яструб МТ.04», що передаються до чашок Петрі, спроможні слугувати

регуляторними сигналами, які гальмують ріст коренів і епикотилів проростків ячменю в денний час доби.

Аналіз нормативних документів показав, що інтенсивність ультразвуку, які генеруються відлякувачем комах «Яструб МТ.04», перевищує безпечні гігієнічні нормативи для людини: даний побутовий прилад в процесі своєї роботи безперервно генерує ультразвуки частотою 30-35 кГц, створюючи рівень звукового тиску в приміщенні 90-110 дБ. При цьому, згідно з Міждержавними санітарними правилами і нормами МСанПіН 001-96 «Санітарні норми допустимих рівнів фізичних факторів при застосуванні товарів народного споживання в побутових умовах» [1] рівень ультразвукового впливу від побутових приладів в діапазоні частот 31,5-100,0 кГц не повинен перевищувати 100 дБ. Таким чином, прилад «Яструб МТ.04» генерує ультразвуки, інтенсивність яких перевищує гігієнічно допустимі для людини нормативи. Можна припустити, що і для рослин такий рівень ультразвуку може мати пошкоджуючий, а не регуляторний ефект. Однак, для остаточної відповіді на питання, якою є природа інгібуючого впливу ультразвуку від приладу «Яструб МТ.4» на ріст проростків ячменю, регуляторною або пошкоджуючою, необхідно подальше проведення мікроскопічних досліджень, які б дозволили виявити порушення поділу клітин, пошкодження хромосом, накопичення мертвих клітин та ін.

Незалежно від того, чи є ультразвуки від приладу «Яструб МТ.4» для проростків ячменю регуляторними або пошкоджуючими, отримані нами результати свідчать про те, що рівень ультразвуку, який генерується побутовим відлякувачем комах «Яструб МТ.04» на відстані 1 м від приладу є біологічно активним і, таким чином, потенційно може становити небезпеку для здоров'я людини при тривалому впливі.

Крім того, важливо підкреслити, що значну небезпеку становлять можливі відтерміновані біологічні ефекти зазначеного впливу, які можуть бути не передбачуваними, оскільки відомо, що ультразвук змінює програму роботи геному, як в клітинах рослинних організмів, так і в клітинах людини і тварин.

Зокрема, було встановлено, що ультразвук здатний активувати процеси регенерації в культурі *in vitro*, що в першу чергу пов'язано з перепрограмуванням геному клітин. Так, ультразвукова обробка (47 кГц, 2 хв, 35 Вт) в п'ять разів (у порівнянні з необробленим контролем) стимулювала регенерацію пагонів у експлантів *Cucurbita pepo* L. [3]; ультразвук (22 кГц, 1,2-14,9 Вт/см<sup>2</sup> в рідкому середовищі, акустичний тиск 160-170 дБ, 60 сек) сприяв індукції калуса і подальшому морфогенезу: регенерація пагонів прискорювалася в 2,5-3,5 разів при впливі на листові диски яблуні [25].

Більше того, було встановлено, що регуляторні ефекти ультразвуку передаються наступним поколінням рослин. Так, після впливу ультразвуком на насіння кукурудзи, у рослин в другому поколінні змінювався характер обміну речовин [43]. *Weinberger P. i Das G.* (1972) [44] було встановлено, що ультразвуки частотою 19 кГц на початку посилювали поділ клітин в синхронізованій культурі водорості сценедесмус; але, при більш тривалій експозиції – інгібували поділ клітин. При цьому феномен впливу ультразвуку на поділ клітин водоростей підтримувався в двох поколіннях перш ніж водорості відновили нормальну швидкість збільшення кількості клітин [44]. Таким чином, регуляторні ефекти ультразвуку спроможні проявлятися в наступних поколіннях, що свідчить про трансгенеративний вплив ультразвуку на генетичний апарат рослин.

Ультразвук змінює програму розвитку не тільки рослинних клітин, але також клітин людини і тварин. На сьогодні ці ефекти інтенсивно вивчаються з позитивної точки зору можливості використання ультразвуку для перепрограмування стовбурових клітин і прискорення регенерації пошкоджених тканин (кісткової, хрящової, м'язової, нервової) [5,

21, 34, 45], для пригнічення роботи імунної системи з метою блокування запальних реакцій (при артритях і т.н.) [46], для перепрограмування ракових пухлин в напрямку диференціації [19] і т.н. Однак, тривалий безконтрольний вплив техногенного ультразвуку, виходячи з його здатності змінювати програму роботи клітин, може мати несприятливі наслідки для здоров'я людини.

В цілому, результати проведених нами досліджень, показали можливість використання ростового фітотесту для виявлення біологічного ефекту впливу ультразвуків, випромінюваних побутовим відлякувачем комах «Яструб МТ.04», що може бути корисним для встановлення потенційної небезпеки використання приладів подібного типу в житлових приміщеннях.

### ЛІТЕРАТУРА

1. МСанПиН 001-96. Межгосударственные санитарные правила и нормы МСанПиН 001-96 «Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях», [http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow\\_DocumID\\_521.html](http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_521.html).
2. Aitkin LM, Nelson JE, Shepherd RK. Hearing, vocalization and the external ear of a marsupial, the northern Quoll, *Dasyurus hallucatus*. J Comp Neurol. 1994;349(3):377-88.
3. Ananthakrishnan G, Xia X, Amutha S, Singer S, Muruganatham M, Yablonsky S, Fischer E, Gaba V. Ultrasonic treatment stimulates multiple shoot regeneration and explant enlargement in recalcitrant squash cotyledon explants *in vitro*. Plant Cell Rep. 2007;26(3):267-76.
4. Basta G, Venneri L, Lazzarini G, Pasanisi E, Pianelli M, Vesentini N, Del Turco S, Kusmic C, Picano E. *In vitro* modulation of intracellular oxidative stress of endothelial cells by diagnostic cardiac ultrasound. Cardiovasc Res. 2003;58(1):156-61.
5. Bernal A, Perez LM, De Lucas B, Martin NS, Kadow-Romacker A, Plaza G, et al. Low-Intensity Pulsed Ultrasound Improves the Functional Properties of Cardiac Mesoangioblasts. Stem Cell Rev Rep. 2015;11(6):852-65. doi: 10.1007/s12015-015-9608-6.
6. Bohn KM, Boughman JW, Wilkinson GS, Moss CF. Auditory sensitivity and frequency selectivity in greater spear-nosed bats suggest specializations for acoustic communication. J Comp Physiol A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol. 2004;190(3):185-92.
7. Chen YP, Liu Q, Yue XZ, Meng ZW, Liang J. Ultrasonic vibration seeds showed improved resistance to cadmium and lead in wheat seedling. Environ Sci Pollut Res Int. 2013;20(7):4807-16. doi: 10.1007/s11356-012-1411-1.
8. Currier HB, Webster DH. Callose formation and subsequent disappearance: studies in ultrasound stimulation. Plant Physiol. 1964;39:843-7.
9. Feng AS, Narins PM, Xu CH, Lin WY, Yu ZL, Qiu Q, et al. Ultrasonic communication in frogs. Nature. 2006;440(7082):333-6.
10. Furusawa Y, Iizumi T, Fujiwara Y, Hassan MA, Tabuchi Y, Nomura T, et al. Ultrasound activates ataxia telangiectasia mutated- and rad3-related (ATR)-checkpoint kinase 1 (Chk1) pathway in human leukemia Jurkat cells. Ultrason Sonochem. 2012;19(6):1246-51. doi: 10.1016/j.ultsonch.2012.04.003.
11. Gregory WD, Miller MW, Carstensen EL, Cataldo FL, Reddy MM. Non-thermal effects of 2 MHz ultrasound on the growth and cytology of *Vicia faba* roots. Br J Radiol. 1974;47(554):122-9.
12. Hameroff S, Trakas M, Duffield C, Annabi E, Gerace MB, Boyle P, et al. Transcranial ultrasound (TUS) effects on mental states: a pilot study. Brain Stimul. 2013;6(3):409-15. doi: 10.1016/j.brs.2012.05.002.
13. Hasan MM, Bashir T, Bae H. Use of Ultrasonication Technology for the Increased Production



- of Plant Secondary Metabolites. *Molecules*. 2017;22(7):pii:E1046. doi: 10.3390/molecules22071046.
14. Hauser J, Hauser M, Muhr G, Esenwein S. Ultrasound-induced modifications of cytoskeletal components in osteoblast-like SAOS-2 cells. *J Orthop Res*. 2009;27(3):286-94. doi: 10.1002/jor.20741.
  15. Hering ER, Shepstone BJ. Observations on the combined effect of ultrasound and x-rays on the growth of the roots of *Zea mays*. *Phys Med Biol*. 1976;21(2):263-71.
  16. Khait I, Sharon R, Perelman R, Boonman A, Yovel Y, Hadany L. The sounds of plants - Plants emit remotely detectable ultrasounds that can reveal plant stress. Dec. 28, 2018; doi: <http://dx.doi.org/10.1101/507590>.
  17. Kratovalieva S, Srbinska M, Popsimonova G, Selamovska A, Meglic V, Anđelković V. Ultrasound influence on coleoptile length at Poaceae seedlings as valuable criteria in prebreeding and breeding processes. *Genetika*. 2012;44(3):561-70.
  18. Laschimke R, Burger M, Vallen H. Acoustic emission analysis and experiments with physical model systems reveal a peculiar nature of the xylem tension. *J Plant Physiol*. 2006;163:996-1007.
  19. Lee IC, Fadera S, Liu HL. Strategy of differentiation therapy: effect of dual-frequency ultrasound on the induction of liver cancer stem-like cells on a HA-based multilayer film system. *J Mater Chem B*. 2019;7(35):5401-11. doi: 10.1039/c9tb01120j.
  20. Liu Y, Yang H, Sakanishi A. Ultrasound: mechanical gene transfer into plant cells by sonoporation. *Biotechnol Adv*. 2006;24(1):1-16.
  21. Lu H, Qin L, Lee K, Cheung W, Chan K, Leung K. Identification of genes responsive to low-intensity pulsed ultrasound stimulations. *Biochem Biophys Res Commun*. 2009;378(3):569-73. doi: 10.1016/j.bbrc.2008.11.074.
  22. Miller MW, Ciaravino V, Allen D, Jensen S. Effect of 2 MHz Ultrasound on DNA, RNA and Protein Synthesis in *Pisum Sativum* Root Meristem Cells. *Internat J Radiation Biol Related Studies Physics, Chemistry & Medicine*. 1976a;30(3):217-22.
  23. Miller MW, Kaufman GE. Effects of short-duration exposures to 2MHz ultrasound on growth and mitotic index of *Pisum sativum* roots. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 1977;3(1):27-9.
  24. Miller MW, Voorhees SM, Carstensen EL, Kaufman GE. The Effect of 2 MHz Ultrasound Irradiation on *Pisum sativum* Roots. *Radiation Research*. 1976b;65(3):451-7.
  25. Muratova SA, Papikhin RV. The Effect of Ultrasound Irradiation on Induction of Callus Formation and Morphogenesis from the Leaf Discs of Apple Clonal Rootstocks. *J Pharm Sci & Res*. 2018;10(10):2592-6.
  26. Nakano R, Takanashi T, Fujii T, Skals N, Surlykke A, Ishikawa Y. Moths are not silent, but whisper ultrasonic courtship songs. *J Exp Biol*. 2009;212(Pt 24):4072-8. doi: 10.1242/jeb.032466.
  27. Noriega S, Hasanova G, Subramanian A. The effect of ultrasound stimulation on the cytoskeletal organization of chondrocytes seeded in three-dimensional matrices. *Cells Tissues Organs*. 2013;197(1):14-26. doi: 10.1159/000339772.
  28. Palumbo P, Cinque B, Miconi G, La Torre C, Zoccali G, Vrentzos N, et al. Biological effects of low frequency high intensity ultrasound application on *ex vivo* human adipose tissue. *Int J Immunopathol Pharmacol*. 2011;24(2):411-22.
  29. Pena J, Grace J. Water relations and ultrasound emissions of *Pinus sylvestris* L. before, during and after a period of water stress. *New Phytologist*. 1986;103(3):515-24.
  30. Perelman ME, Rubinstein GM. Ultrasound vibrations of plant cells membranes: water lift in trees, electrical phenomena. 2006; <http://arxiv.org/abs/physics/0611133>.

31. Perks MP, Irvine J, Grace J. Xylem acoustic signals from mature *Pinus sylvestris* during an extended drought. *Annals of Forest Science*. 2004;61(1):1–8. doi:10.1051/forest:2003079.
32. Qin YC, Lee WC, Choi YC, Kim TW. Biochemical and physiological changes in plants as a result of different sonic exposures. *Ultrasonics*. 2003;41(5):407-11.
33. Ramsier MA, Cunningham AJ, Moritz GL, Finneran JJ, Williams CV, Ong PS, Gursky-Doyen SL, Dominy NJ. Primate communication in the pure ultrasound. *Biol Lett*. 2012;8(4):508-11. doi:10.1098/rsbl.2011.1149
34. Sahu N, Budhiraja G, Subramanian A. Preconditioning of mesenchymal stromal cells with low-intensity ultrasound: influence on chondrogenesis and directed SOX9 signaling pathways. *Stem Cell Res Ther*. 2020;11(1):6. doi:10.1186/s13287-019-1532-2
35. Saliev T, Begimbetova D, Baishanova D, Abetov D, Kairov U, Gilman CP, et al. Apoptotic and genotoxic effects of low-intensity ultrasound on healthy and leukemic human peripheral mononuclear blood cells. *J Med Ultrason*. 2018;45(1):31-9. doi:10.1007/s10396-017-0805-6.
36. Seffer D, Schwarting RK, Wöhr M. Pro-social ultrasonic communication in rats: insights from playback studies. *J Neurosci Methods*. 2014;234:73-81. doi:10.1016/j.jneumeth.2014.01.023.
37. Song L, Wang X, Zhang W, Ye L, Feng X. Low-intensity ultrasound promotes the horizontal transfer of resistance genes mediated by plasmids in *E. coli*. *3 Biotech*. 2018;8(5):224. doi:10.1007/s13205-018-1247-6.
38. Sun CX, Ma YJ, Wang JW. Enhanced production of hypocrellin A by ultrasound stimulation in submerged cultures of *Shiraia bambusicola*. *Ultrason Sonochem*. 2017;38:214-24. doi:10.1016/j.ultsonch.2017.03.020.
39. Udrioiu I, Marinaccio J, Bedini A, Giliberti C, Palomba R, Sgura A. Genomic damage induced by 1-MHz ultrasound *in vitro*. *Environ Mol Mutagen*. 2018;59(1):60-8. doi:10.1002/em.22124.
40. Wang B, Shao J, Li B, Lian J, Duan C. Soundwave stimulation triggers the content change of the endogenous hormone of the *Chrysanthemum* mature callus. *Coll Surf B Biointerfaces*. 2004;37:107–12.
41. Wang X, Liu Q, Wang Z, Wang P, Hao Q, Li C. Bioeffects of low-energy continuous ultrasound on isolated sarcoma 180 cells. *Chemotherapy*. 2009;55(4):253-61. doi:10.1159/000220246.
42. Wei M, Yang C-Y, Wei S-H. Enhancement of the differentiation of protocorm-like bodies of *Dendrobium officinale* to shoots by ultrasound treatment. *J Plant Physiol*. 2012;169(8): 770–4.
43. Weinberger P, Anderson P, Donovan LS. Change in production, yield, and chemical composition of corn (*Zea maize*) after ultrasound treatment of seeds. *Rad Environ Biophys*. 1979; 16:81–8.
44. Weinberger P, Das G. The effect of an audible and low ultrasound frequency on the growth of synchronized cultures of *Scenedesmus obtusiusculus*. *Can J Bot*. 1972;50:361–6.
45. Xia B, Zou Y, Xu Z, Lv Y. Gene expression profiling analysis of the effects of low-intensity pulsed ultrasound on induced pluripotent stem cell-derived neural crest stem cells. *Biotechnol Appl Biochem*. 2017;64(6):927-37. doi:10.1002/bab.1554.
46. Yang Q, Nanayakkara GK, Drummer C, Sun Y, Johnson C, Cueto R, et al. Low-Intensity Ultrasound-Induced Anti-inflammatory Effects Are Mediated by Several New Mechanisms Including Gene Induction, Immunosuppressor Cell Promotion, and Enhancement of Exosome Biogenesis and Docking. *Front Physiol*. 2017;8:818. doi:10.3389/fphys.2017.00818.
47. Zhang YY, Wu KL, Zhang JX, Deng RF, Duan J, Teixeira da Silva JA, et al. Embryo development in association with asymbiotic seed germination *in vitro* of *Paphiopedilum*

*armeniacum* S. C. Chen et F. Y. Liu. Sci Rep. 2015;5:16356. doi: 10.1038/srep16356.

48. Zweifel R, Zeugin F. Ultrasonic acoustic emissions in drought-stressed trees – more than signals from cavitation? New Phytologist. 2008;179:1070–9.

#### REFERENCES

1. MSanPiN 001-96. Interstate sanitary rules and norms MSanPiN 001-96: Sanitary norms of permissible levels of physical factors when using consumer goods in domestic conditions, [http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow\\_DocumID\\_521.html](http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_521.html). (in Russian).
2. Aitkin LM, Nelson JE, Shepherd RK. Hearing, vocalization and the external ear of a marsupial, the northern Quoll, *Dasyurus hallucatus*. J Comp Neurol. 1994;349(3):377-88.
3. Ananthakrishnan G, Xia X, Amutha S, Singer S, Muruganatham M, Yablonsky S, Fischer E, Gaba V. Ultrasonic treatment stimulates multiple shoot regeneration and explant enlargement in recalcitrant squash cotyledon explants *in vitro*. Plant Cell Rep. 2007;26(3):267-76.
4. Basta G, Venneri L, Lazzerini G, Pasanisi E, Pianelli M, Vesentini N, Del Turco S, Kusmic C, Picano E. *In vitro* modulation of intracellular oxidative stress of endothelial cells by diagnostic cardiac ultrasound. Cardiovasc Res. 2003;58(1):156-61.
5. Bernal A, Perez LM, De Lucas B, Martin NS, Kadow-Romacker A, Plaza G, et al. Low-Intensity Pulsed Ultrasound Improves the Functional Properties of Cardiac Mesoangioblasts. Stem Cell Rev Rep. 2015;11(6):852-65. DOI: 10.1007/s12015-015-9608-6.
6. Bohn KM, Boughman JW, Wilkinson GS, Moss CF. Auditory sensitivity and frequency selectivity in greater spear-nosed bats suggest specializations for acoustic communication. J Comp Physiol A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol. 2004;190(3):185-92.
7. Chen YP, Liu Q, Yue XZ, Meng ZW, Liang J. Ultrasonic vibration seeds showed improved resistance to cadmium and lead in wheat seedling. Environ Sci Pollut Res Int. 2013;20(7):4807-16. DOI: 10.1007/s11356-012-1411-1.
8. Currier HB, Webster DH. Callose formation and subsequent disappearance: studies in ultrasound stimulation. Plant Physiol. 1964;39:843–7.
9. Feng AS, Narins PM, Xu CH, Lin WY, Yu ZL, Qiu Q, et al. Ultrasonic communication in frogs. Nature. 2006;440(7082):333-6.
10. Furusawa Y, Iizumi T, Fujiwara Y, Hassan MA, Tabuchi Y, Nomura T, et al. Ultrasound activates ataxia telangiectasia mutated- and rad3-related (ATR)-checkpoint kinase 1 (Chk1) pathway in human leukemia Jurkat cells. Ultrason Sonochem. 2012;19(6):1246-51. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2012.04.003.
11. Gregory WD, Miller MW, Carstensen EL, Cataldo FL, Reddy MM. Non-thermal effects of 2 MHz ultrasound on the growth and cytology of *Vicia faba* roots. Br J Radiol. 1974;47(554):122-9.
12. Hameroff S, Trakas M, Duffield C, Annabi E, Gerace MB, Boyle P, et al. Transcranial ultrasound (TUS) effects on mental states: a pilot study. Brain Stimul. 2013;6(3):409-15. DOI: 10.1016/j.brs.2012.05.002.
13. Hasan MM, Bashir T, Bae H. Use of Ultrasonication Technology for the Increased Production of Plant Secondary Metabolites. Molecules. 2017;22(7):pii:E1046. DOI: 10.3390/molecules22071046.
14. Hauser J, Hauser M, Muhr G, Esenwein S. Ultrasound-induced modifications of cytoskeletal components in osteoblast-like SAOS-2 cells. J Orthop Res. 2009;27(3):286-94. DOI: 10.1002/jor.20741.
15. Hering ER, Shepstone BJ. Observations on the combined effect of ultrasound and x-rays on the growth of the roots of *Zea mays*. Phys Med Biol. 1976;21(2):263-71.
16. Khait I, Sharon R, Perelman R, Boonman A, Yovel Y, Hadany L. The sounds of plants -

- Plants emit remotely detectable ultrasounds that can reveal plant stress. Dec. 28, 2018; DOI: <http://dx.doi.org/10.1101/507590>.
17. Kratovalieva S, Srbinoska M, Popsimonova G, Selamovska A, Meglic V, Andelkovic V. Ultrasound influence on coleoptile length at Poaceae seedlings as valuable criteria in prebreeding and breeding processes. *Genetika*. 2012;44(3):561–70.
  18. Laschimke R, Burger M, Vallen H. Acoustic emission analysis and experiments with physical model systems reveal a peculiar nature of the xylem tension. *J Plant Physiol*. 2006;163:996–1007.
  19. Lee IC, Fadera S, Liu HL. Strategy of differentiation therapy: effect of dual-frequency ultrasound on the induction of liver cancer stem-like cells on a HA-based multilayer film system. *J Mater Chem B*. 2019;7(35):5401-11. DOI: 10.1039/c9tb01120j.
  20. Liu Y, Yang H, Sakanishi A. Ultrasound: mechanical gene transfer into plant cells by sonoporation. *Biotechnol Adv*. 2006;24(1):1-16.
  21. Lu H, Qin L, Lee K, Cheung W, Chan K, Leung K. Identification of genes responsive to low-intensity pulsed ultrasound stimulations. *Biochem Biophys Res Commun*. 2009;378(3):569-73. DOI: 10.1016/j.bbrc.2008.11.074.
  22. Miller MW, Ciaravino V, Allen D, Jensen S. Effect of 2 MHz Ultrasound on DNA, RNA and Protein Synthesis in *Pisum Sativum* Root Meristem Cells. *Internat J Radiation Biol Related Studies Physics, Chemistry & Medicine*. 1976a;30(3):217–22.
  23. Miller MW, Kaufman GE. Effects of short-duration exposures to 2MHz ultrasound on growth and mitotic index of *Pisum sativum* roots. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 1977;3(1):27–9.
  24. Miller MW, Voorhees SM, Carstensen EL, Kaufman GE. The Effect of 2 MHz Ultrasound Irradiation on *Pisum sativum* Roots. *Radiation Research*. 1976b;65(3):451-7.
  25. Muratova SA, Papikhin RV. The Effect of Ultrasound Irradiation on Induction of Callus Formation and Morphogenesis from the Leaf Discs of Apple Clonal Rootstocks. *J Pharm Sci & Res*. 2018;10(10):2592–6.
  26. Nakano R, Takanashi T, Fujii T, Skals N, Surlykke A, Ishikawa Y. Moths are not silent, but whisper ultrasonic courtship songs. *J Exp Biol*. 2009;212(Pt 24):4072-8. DOI: 10.1242/jeb.032466.
  27. Noriega S, Hasanova G, Subramanian A. The effect of ultrasound stimulation on the cytoskeletal organization of chondrocytes seeded in three-dimensional matrices. *Cells Tissues Organs*. 2013;197(1):14-26. DOI: 10.1159/000339772.
  28. Palumbo P, Cinque B, Miconi G, La Torre C, Zoccali G, Vrentzos N, et al. Biological effects of low frequency high intensity ultrasound application on *ex vivo* human adipose tissue. *Int J Immunopathol Pharmacol*. 2011;24(2):411-22.
  29. Pena J, Grace J. Water relations and ultrasound emissions of *Pinus sylvestris* L. before, during and after a period of water stress. *New Phytologist*. 1986;103(3):515–24.
  30. Perelman ME, Rubinstein GM. Ultrasound vibrations of plant cells membranes: water lift in trees, electrical phenomena. 2006; <http://arxiv.org/abs/physics/0611133>.
  31. Perks MP, Irvine J, Grace J. Xylem acoustic signals from mature *Pinus sylvestris* during an extended drought. *Annals of Forest Science*. 2004;61(1):1–8. DOI:10.1051/forest:2003079.
  32. Qin YC, Lee WC, Choi YC, Kim TW. Biochemical and physiological changes in plants as a result of different sonic exposures. *Ultrasonics*. 2003;41(5):407-11.
  33. Ramsier MA, Cunningham AJ, Moritz GL, Finneran JJ, Williams CV, Ong PS, Gursky-Doyen SL, Dominy NJ. Primate communication in the pure ultrasound. *Biol Lett*. 2012;8(4):508-11. DOI:10.1098/rsbl.2011.1149.
  34. Sahu N, Budhiraja G, Subramanian A. Preconditioning of mesenchymal stromal cells



- with low-intensity ultrasound: influence on chondrogenesis and directed SOX9 signaling pathways. *Stem Cell Res Ther.* 2020;11(1):6. DOI:10.1186/s13287-019-1532-2.
35. Saliev T, Begimbetova D, Baiskhanova D, Abetov D, Kairov U, Gilman CP, et al. Apoptotic and genotoxic effects of low-intensity ultrasound on healthy and leukemic human peripheral mononuclear blood cells. *J Med Ultrason.* 2018;45(1):31-9. DOI:10.1007/s10396-017-0805-6.
  36. Seffer D, Schwarting RK, Wohr M. Pro-social ultrasonic communication in rats: insights from playback studies. *J Neurosci Methods.* 2014;234:73-81. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2014.01.023.
  37. Song L, Wang X, Zhang W, Ye L, Feng X. Low-intensity ultrasound promotes the horizontal transfer of resistance genes mediated by plasmids in *E. coli*. *3 Biotech.* 2018;8(5):224. DOI: 10.1007/s13205-018-1247-6.
  38. Sun CX, Ma YJ, Wang JW. Enhanced production of hypocrellin A by ultrasound stimulation in submerged cultures of *Shiraia bambusicola*. *Ultrason Sonochem.* 2017;38:214-24. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2017.03.020.
  39. Udroui I, Marinaccio J, Bedini A, Giliberti C, Palomba R, Sgura A. Genomic damage induced by 1-MHz ultrasound *in vitro*. *Environ Mol Mutagen.* 2018;59(1):60-8. DOI: 10.1002/em.22124.
  40. Wang B, Shao J, Li B, Lian J, Duan C. Soundwave stimulation triggers the content change of the endogenous hormone of the *Chrysanthemum* mature callus. *Coll Surf B Biointerfaces.* 2004;37:107-12.
  41. Wang X, Liu Q, Wang Z, Wang P, Hao Q, Li C. Bioeffects of low-energy continuous ultrasound on isolated sarcoma 180 cells. *Chemotherapy.* 2009;55(4):253-61. DOI: 10.1159/000220246.
  42. Wei M, Yang C-Y, Wei S-H. Enhancement of the differentiation of protocorm-like bodies of *Dendrobium officinale* to shoots by ultrasound treatment. *J Plant Physiol.* 2012;169(8): 770-4.
  43. Weinberger P, Anderson P, Donovan LS. Change in production, yield, and chemical composition of corn (*Zea mays*) after ultrasound treatment of seeds. *Rad Environ Biophys.* 1979; 16:81-8.
  44. Weinberger P, Das G. The effect of an audible and low ultrasound frequency on the growth of synchronized cultures of *Scenedesmus obtusiusculus*. *Can J Bot.* 1972;50:361-6.
  45. Xia B, Zou Y, Xu Z, Lv Y. Gene expression profiling analysis of the effects of low-intensity pulsed ultrasound on induced pluripotent stem cell-derived neural crest stem cells. *Biotechnol Appl Biochem.* 2017;64(6):927-37. DOI:10.1002/bab.1554.
  46. Yang Q, Nanayakkara GK, Drummer C, Sun Y, Johnson C, Cueto R, et al. Low-Intensity Ultrasound-Induced Anti-inflammatory Effects Are Mediated by Several New Mechanisms Including Gene Induction, Immunosuppressor Cell Promotion, and Enhancement of Exosome Biogenesis and Docking. *Front Physiol.* 2017;8:818. DOI:10.3389/fphys.2017.00818.
  47. Zhang YY, Wu KL, Zhang JX, Deng RF, Duan J, Teixeira da Silva JA, et al. Embryo development in association with asymbiotic seed germination *in vitro* of *Paphiopedilum armeniacum* S. C. Chen et F. Y. Liu. *Sci Rep.* 2015;5:16356. DOI: 10.1038/srep16356.
  48. Zweifel R, Zeugin F. Ultrasonic acoustic emissions in drought-stressed trees – more than signals from cavitation? *New Phytologist.* 2008;179:1070-9.

Стаття надійшла до редакції 23.04.2020.  
The article was received 23 April 2020.