

## МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ (*TRITICUM AESTIVUM L.*) ПІСЛЯ ОБРОБКИ ФУЛЕРЕНОМ C<sub>60</sub>

Є.О. ДІДУР, С.В. ПРИЛУЦЬКА, Т.А. ТКАЧЕНКО

Національний університет біоресурсів і природокористування України, факультет захисту рослин, біотехнологій та екології, кафедра фізіології, біохімії рослин та біоенергетики, вулиця Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, email: [ttkach82@gmail.com](mailto:ttkach82@gmail.com)

У роботі представлені дослідження впливу вуглецевих наночастинок фулерену C<sub>60</sub> на морфометричні показники озимої пшениці. В сільському господарстві основні джерела надходження карбону в ґрунт мають органічне походження, разом з тим наночастинки є новими перспективними засобами, що можуть покращити засвоєння цього елемента, а зважаючи на його функції, і продуктивність рослин. Метою роботи було вивчення впливу колоїдного розчину фулерену C<sub>60</sub> в різних концентраціях (0,1; 0,2; 0,5; 1,0 мкг/мл) на морфометричні показники проростків пшениці озимої (*Triticum aestivum L.*). Фулерени C<sub>60</sub> було синтезовано і охарактеризовано їх стабільність та структуру у водному колоїдному розчині в Інституті хімії і біотехнологій Технічного Університету м. Ільменау (Німеччина). В роботі було використано сертифіковане насіння озимої пшениці двох сортів Актер та Патрас від офіційного дистриб'ютора DSV (Німеччина) в Україні. Передпосівна обробка насіння пшениці дослідних груп включала його стерилізацію і замочування у колоїдних водних розчинах C<sub>60</sub> фулерену у діапазоні концентрації 0,1 мкг/мл, 0,2 мкг/мл, 0,5 мкг/мл, 1 мкг/мл впродовж 2 год 45 хв. Оцінювали наступні морфометричні показники: довжина пагонів, довжина коренів, загальна довжина та сира маса рослини.

Найбільш виражений ефект відмічено на довжині пагонів і коренів проростків пшениці сорту Актер після додавання фулерену C<sub>60</sub> за концентрації 0,2 мкг/мл, про що свідчило статистично значуще збільшення цих показників на 27,0 % і 28,1 % відповідно у порівнянні з контрольними (не обробленими) рослинами. У рослин озимої пшениці сорту Патрас фулерен C<sub>60</sub> за концентрації 0,2 мкг/мл також спричиняв найбільш виразні зміни морфометричних показників, які попри це не були аналогічними таким у сорту Актер. Довжина пагонів пшениці сорту Патрас, навпаки, зменшилась на 22,9 %, тоді як загальна довжина рослин та їх сира маса суттєво збільшились – на 38,9 % і 52,9 % відповідно порівняно з контрольною групою. Таким чином, можна стверджувати, що ефекти впливу фулерену C<sub>60</sub> залежать не лише від дози і способу застосування, а й від індивідуальних характеристик рослин і зокрема їх сорту.

*Ключові слова:* фулерен C<sub>60</sub>, насіння, пшениця озима, морфометричні показники

**Вступ.** Нанодобрива – це нове покоління добрив, які виготовляються за допомогою інноваційних нанотехнологій для забезпечення ефективного стимулювання росту і розвитку сільськогосподарських культур та підвищення їх врожайності та стресостійкості. Їх можна використовувати для ціленаправленої і контрольованої доставки поживних речовин рослинам, забезпечуючи поступове вивільнення протягом тривалого періоду часу та постійне надходження до рослин основних біогенних елементів (Yadav A. et al, 2023). Основним джерелом карбону, яке використовується в сільському господарстві для живлення ґрунту, є органічні рештки. Нанодобрива на основі карбону також є екологічно чистими джерелами, оскільки підтримують баланс поглинання карбону та викидів нітрогену в навколишнє середовище. Завдяки своїм унікальним властивостям нанодобрива є перспективними засобами покращення якості ґрунтів і оптимізації

поглинання з них карбону (El-Ramady H., et al, 2023).

Незалежно від джерела карбону (органічний карбон із ґрунту чи атмосферний вуглекислий газ), ріст рослин і карбон є взаємопов'язаними. Сконструйовані вуглецеві наноструктури викликають значний інтерес через свою стабільність і унікальні фізико-хімічні властивості, а також здатність регулювати ріст і розвиток рослин, а також їх стійкість до абіотичних факторів (Nongbet A., et al, 2022; Prylutska S., et al, 2023).

Наночастинки карбону, а саме фулерени C<sub>60</sub> та їх водорозчинні похідні, завдяки унікальній структурі, фізико-хімічним властивостям, нанорозмірності і гідрофобності молекули, володіють широким спектром біологічної дії, зокрема протівірусною, протигрибковою, антибактеріальною та антиоксидантною активністю (Castro E., et al, 2017; Prylutska, S., et al, 2022). Ефективність дії похідних фулерену

C<sub>60</sub>, як і інших вуглецевих наноматеріалів, залежить від їх розміру, наявності функціональних груп, концентрації, способу застосування, умов середовища та індивідуальних видових реакції рослин (Xiong J., et al, 2018).

Позитивний вплив фулерену C<sub>60</sub> і його водорозчинних похідних на рослини, імовірно, пов'язаний з різними факторами, зокрема здатністю виконувати роль міжмолекулярних депо води, модулювати активність генів аквапоринів, стимулювати процеси фотосинтезу, та проявляти антиоксидантну активність, а саме зв'язувати активні форми кисню, завдяки чому ці наночастинки демонструють широкий потенціал застосування у сільському господарстві (Injac R., et al, 2013; Borišev M., et al, 2016; Ozfidan-Konakci S., et al, 2022).

Пшениця озима (*Triticum aestivum L.*) є однією із найважливіших сільськогосподарських рослин в Україні, оскільки стабільні врожаї цієї культури є запорукою продовольчої безпеки населення як України, так і Європи та країн Сходу. Отримання якісної сировини при одночасному збереженні родючості ґрунтів, а також забезпечення ефективного впливу на якість зерна - ключові питання, які стоять перед агробіотехнологіями (Feduniak, I., and Hurska, I., 2020).

Саме тому нові структуровані вуглецеві наноматеріали, зокрема фулерени C<sub>60</sub>, мають великі перспективи використання в агротехнологіях, що дозволило б зменшити використання агрохімікатів та мінімізувати вплив на навколишнє середовище (екологічний фактор), підвищити врожайність сільськогосподарських культур, зокрема пшениці озимої, та покращити якість продукції рослинництва. Проте існують суперечливі результати досліджень щодо доз і шляхів використання фулерену C<sub>60</sub> та відповідно їх впливу на ріст і розвиток сільськогосподарських рослин різних видів, що потребує більш детального вивчення механізмів їх дії.

Зважаючи на вище вказане, метою роботи було вивчити вплив колоїдного розчину фулерену C<sub>60</sub> в різних концентраціях (0,1; 0,2; 0,5; 1,0 мкг/мл) шляхом обробки насіння на морфометричні показники проростків пшениці озимої (*Triticum aestivum L.*).

**Матеріали і методи.** Дослідження проведено на базі навчально-наукової лабораторії "Біохімії та фітобіотехнології" кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики Національного університету біоресурсів і природокористування України. У дослідженні було використано сертифіковане

насіння озимої пшениці двох сортів Актер та Патрас від офіційного дистриб'ютора DSV (ФРН) в Україні. Водний колоїдний розчин фулерену C<sub>60</sub> було синтезовано і охарактеризовано його стабільність та структуру (Schuetze C, et al, 2011) у хімічній лабораторії Інституту хімії та біотехнологій Технічного Університету м. Ільменау (ФРН) та люб'язно надано для досліджень професором Уве Ріттером.

Для стерилізації і передпосівної обробки насіння пшениці були використані наступні препарати: розчин борної кислоти з концентрацією 0,06 г/л; 3% розчин пероксиду водню; колоїдний стабільний розчин фулерену C<sub>60</sub> у чотирьох концентраціях: 0,1 мкг/мл, 0,2 мкг/мл, 0,5 мкг/мл, 1 мкг/мл. Загальна кількість насіння в кожній групі становила по 20 шт.

Передпосівна обробка насіння включала наступні етапи:

1) стерилізація насіння пшениці усіх груп (контрольна і дослідні) в 3 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> упродовж 7 хв з наступним трьохразовим промиванням дистильованою водою;

2) замочування насіння пшениці усіх груп у розчині H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (0,6 г/л) упродовж 20 хв;

3) замочування насіння пшениці дослідних груп (по 20 насінин в кожній) у колоїдних водних розчинах C<sub>60</sub> фулерену у відповідних концентраціях: 0,1 мкг/мл, 0,2 мкг/мл, 0,5 мкг/мл, 1 мкг/мл (15 мл розчину на групу) впродовж 2 год 45 хв;

4) насіння контрольної групи замочували в дистильованій воді (15 мл) впродовж 2 год 45 хв.

Оцінку морфометричних показників проводили на 14 добу після пророщення та визначали такі показники як довжина пагонів, коренів, загальна довжина рослин та сира маса.

Проростки обережно витягали з ґрунту, щоб не пошкодити корінці, та видаляли з них залишки ґрунту. Для визначення довжини пагонів проростків пшениці озимої вони були поміщені на плоску поверхню і вимірювались за допомогою стандартної лінійки від основи пагона до його верхівки. Довжину коренів оцінювали по найдовшому первинному кореню, вимірюваному з допомогою стандартної лінійки від основи до кінчика. Загальна висота проростків визначалась вимірюванням від кінчика найдовшого первинного кореня і до кінчика першого листка за допомогою стандартної лінійки. Всі вимірювання виконувались з точністю до 1 мм. Визначення сирої маси рослин озимої пшениці виконували за допомогою лабораторних ваг з точністю до 0,001 г. Для цього кожен проросток окремо був очищений від залишків ґрунту і зважений. Після кожного

зважування ваги очищали для забезпечення точності вимірювань.

Статистичну обробку отриманих даних проводили загальноприйнятими методами варіаційної статистики, а саме з визначенням t-критерію Стьюдента. Побудову графіків та обробку даних здійснювали за допомогою програми *Microsoft Excel 2010*. Статистично значущими вважали результати, якщо  $p \leq 0,05$ .

#### Результати дослідження.

На 14 добу після пророщення пшениці було проведено дослідження морфометричних показників рослин обох зазначених сортів. За результатами проведених вимірювань встановлено, що довжина пагонів у проростків пшениці сорту Актер була значно збільшеною у наступних дослідних групах: фулерен  $C_{60}$  за концентрації 0,2 мкг/мл - на 27,0 %; фулерен  $C_{60}$

за концентрації 0,5 мкг/мл - на 25,7 %; фулерен  $C_{60}$  за концентрації 1,0 мкг/мл - на 27,0 % порівняно з контрольною (необробленою) групою рослин. Разом з тим, обробка насіння пшениці сорту Актер колоїдним розчином фулерену  $C_{60}$  за концентрації 0,1 мкг/мл фактично не впливала на довжину пагона проростків, яка становила  $30,4 \pm 1,3$  мм порівняно з контрольними рослинами -  $29,6 \pm 1,4$  мм (рис. 1 А).

Разом з тим, довжина коренів проростків пшениці цього сорту мала незначні зміни, порівняно з контролем майже у всіх дослідних групах ( $C_{60}$  0,1 мкг/мл;  $C_{60}$  0,5 мкг/мл;  $C_{60}$  1,0 мкг/мл), і лише у групі  $C_{60}$  0,2 мкг/мл відмічено суттєве збільшення цього показника на 28,1 % порівняно з контрольними рослинами.

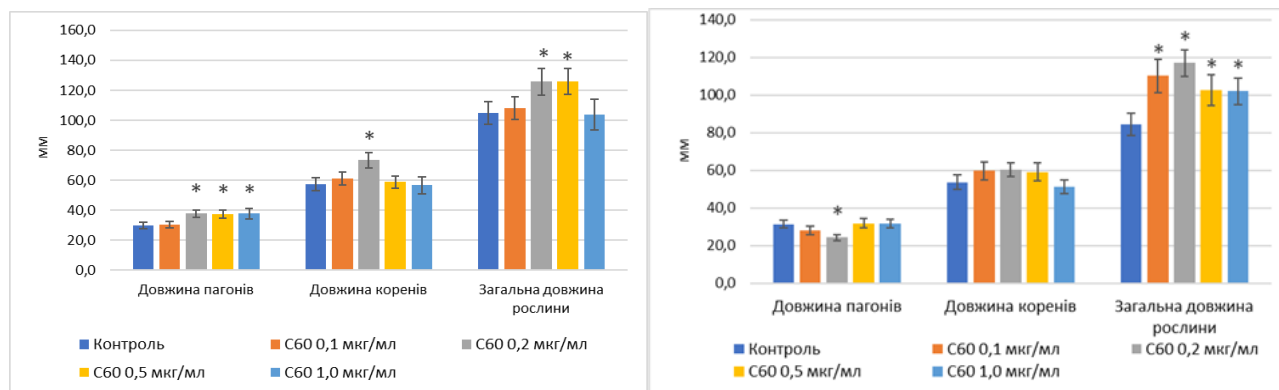


Рис. 1. Морфометричні показники паростків *T. aestivum* сорту Актер (А) та сорту Патрас (В) ( $M \pm m$ ,  $n=20$ ). Примітка: \* -  $p \leq 0,05$  порівняно з контролем

Fig. 1. Morphometric indicators of sprouts of *T. aestivum* variety Akter (A) and variety Patras (B) ( $M \pm m$ ,  $n=20$ ). Note: \* -  $p \leq 0.05$  compared with control

При цьому за умови внесення вуглецевих наночастинок загальна довжина рослин була більшою на 19,8 % ( $C_{60}$  0,2 мкг/мл) та 20,0 % ( $C_{60}$  0,5 мкг/мл) порівняно з контрольними рослинами. Варто зазначити, що за обробки насіння пшениці фулереном  $C_{60}$  у діапазоні досліджуваних концентрацій 0,1-1,0 мкг/мл не відмічено впливу на сиру масу рослин, а лише тенденцію до збільшення цього показника, найбільш виражену у дослідній групі рослин  $C_{60}$  0,2 мкг/мл (рис. 2).

Дослідження морфометричних показників проростків пшениці сорту Патрас показало, що за обробки насіння фулереном  $C_{60}$  довжина пагонів суттєво не змінювалась порівняно з контролем, окрім у рослин групи фулерен  $C_{60}$  0,2 мкг/мл. За дії фулерену  $C_{60}$  в концентрації 0,2 мкг/мл зменшувалася довжина пагонів на 22,9 %, порівняно з контролем, що є свідченням різноспрямованих змін окремих показників пшениці під впливом однакових концентрацій

фулерену  $C_{60}$  залежно від сорту рослин (рис. 1 В). Також у паростків пшениці сорту Патрас не відмічали статистично значущого збільшення довжини коренів порівняно з контрольними рослинами, а спостерігалась лише тенденція до збільшення цього показника у групах рослин після обробки фулереном  $C_{60}$  за концентрації 0,1 мкг/мл,  $C_{60}$  0,2 мкг/мл і  $C_{60}$  1,0 мкг/мл. Разом з тим, в усіх дослідних групах рослин, де для обробки насіння застосовувався фулерен  $C_{60}$ , суттєво зростали інші показники, а саме загальна довжина рослин та їх сира маса.

Так, після обробки фулереном  $C_{60}$  за концентрації 0,1 мкг/мл загальна довжина рослин збільшувалась на 30,8 %,  $C_{60}$  за концентрації 0,2 мкг/мл – на 38,9 %, а  $C_{60}$  за концентрації 0,5 мкг/мл і 1,0 мкг/мл на 21,9 % і 21,0 % відповідно порівняно з контролем (рис. 1 В). Зважаючи на незначні зміни довжини пагонів і коренів рослин вказаних дослідних груп рослин таке збільшення загальної довжини рослин,

імовірно, обумовлене зростанням довжини листків. Окрім того, в усіх рослин сорту Патрас за обробки насіння фулереном С<sub>60</sub> спостерігалось значне збільшення сирової маси на 35,3 % (за концентрації 0,1 мкг/мл), 52,9 % (0,2 мкг/мл),

35,3 % (0,5 мкг/мл) і 23,5 % (1,0 мкг/мл) порівняно з контролем. Тоді як у паростків пшениці сорту Актер такого ефекту не спостерігалось (рис.2).

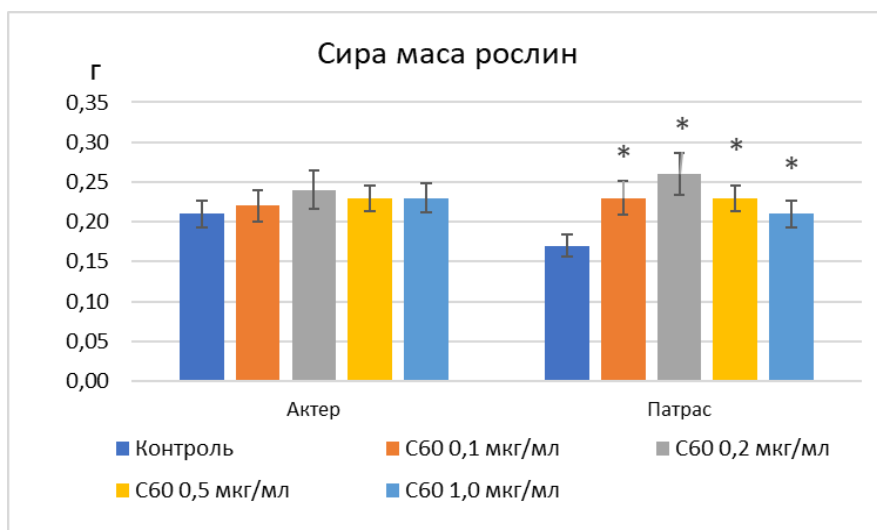


Рис. 2. Сира маса паростків *T. aestivum* ( $M \pm m$ ,  $n=20$ ). Примітка: \* -  $p \leq 0,05$  порівняно з контролем  
 Fig. 2. Raw mass of sprouts of *T. aestivum* variety Akter ( $M \pm m$ ,  $n=20$ ). Note: \* -  $p \leq 0.05$  compared with control

Отримані нами результати підтверджуються й іншими дослідженнями. Так, після дії вуглецевих наночастинок значно збільшувалася довжина пагону і кількість листків фінікової пальми (Taha, R., et al, 2016), посилювалося проростання насіння томатів і редиски, а також підвищувалася суха маса їх пагонів (Haghighi, M., and Teixeira da Silva, J., 2014). Відмічено стимулюючий вплив на ріст пагонів і коренів гірчиці (Mondal, A., et al, 2011). Іншими авторами (Sadenova, M., et al, 2023) також відмічено, що проростки ячменю ярого із зерна, отриманого після обробки рослин водорозчинним полігидроксильованим похідним фулерену - фулеренолом, характеризувалися більш розвиненими пагонами та кореневою системою, порівняно з іншими необробленими рослинами.

Як відомо, під впливом карбонових наночастинок покращується проростання насіння та ріст паростків, що, на думку авторів (Khodakovskaya, M., et al, 2013), обумовлено здатністю цієї форми карбону проникати через оболонку насіння та збільшувати швидкість поглинання води. Імовірно, такі ефекти є одними із ключових в стимуляції росту і розвитку рослин під впливом вуглецевих наночастинок.

Разом з тим, отримані нами результати відрізняються від даних окремих авторів (Wang, Ch., et al, 2016), згідно з якими рослини пшениці, вирощеної в рідкому середовищі, яке містило наночастинок фулерену, не викликало

збільшення біомаси стебла та листя, тоді як сприяло подовженню коренів.

Згідно іншого дослідження, вуглецеві наночастинок, а саме одношарові вуглецеві нанотрубки, стимулюють ріст зародкового кореня кукурудзи, але мало впливають на ріст первинного кореня, тому на думку авторів ріст і розвиток коренів залежить від типів тканин, з яких вони побудовані (Yan, S., et al, 2013).

Як показали наші дослідження, обробка фулереном С<sub>60</sub> впливала на довжину пагона, коренів і рослини в цілому, а також на її сирину масу. При цьому найбільш ефективно на морфометричні показники пшениці озимої впливав фулерен С<sub>60</sub> за концентрації 0,2 мкг/мл. Слід зазначити, що в залежності від сорту пшениці, характер цих змін був різним. Тобто, можемо припустити, що дія фулерену С<sub>60</sub>, крім способу обробки, дози, характеристики наночастинок, визначається ще й генетичними особливостями рослини, навіть в межах одного виду.

**Висновки.** Згідно отриманих результатів фулерен С<sub>60</sub>, який використовувався однократно для передпосівної обробки насіння пшениці, має стимулюючу дію на розвиток надземної частини паростків пшениці озимої, зокрема довжину пагонів та загальну довжину рослин сорту Актер, а також загальну довжину рослин та їх сирину масу в сорту Патрас. Виявлені нами зміни різняться у різних сортів пшениці озимої, а тому вважаємо, що це питання потребує більш детального вивчення задля кращого розуміння механізмів дії

вуглецевих наночастинок і прогнозування отриманих результатів.

**Конфлікт інтересів.** Автори заявляють, що дослідження проводилося за відсутності будь-яких комерційних або фінансових відносин, які можна було б витлумачити як потенційний конфлікт інтересів.

#### Список використаної літератури / References:

1. Avanası, R., Jackson, W. A., Sherwin, B., Mudge, J. F., Anderson, T. A. (2014). C<sub>60</sub> fullerene soil sorption, biodegradation, and plant uptake. *Environmental science & technology*, 48 (5), 2792–2797. <https://doi.org/10.1021/es405306w>
2. Borišev, M., Borišev, I., Župunski, M., Arsenov, D., Pajević, S., Ćurčić, Ž., Vasin, J., Djordjevic, A. (2016). Drought impact is alleviated in sugar beets (*Beta vulgaris* L.) by foliar application of fullerene nanoparticles. *PloS one* 11 (11): e0166248. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166248>
3. Castro, E., Hernandez Garcia, A., Zavala, G., Echegoyen, L. (2017). Fullerenes in Biology and Medicine. *Journal of materials chemistry*. B, 5(32), 6523–6535. <https://doi.org/10.1039/C7TB00855D>
4. El-Ramady H., Elbasiouny H., Elbehiry F., and Zia-ur-Rehman M. (2021). Nano-Nutrients for Carbon Sequestration: A Short Communication. *Egypt. J. Soil Sci.*, 61 (4), 389–398. <https://doi.org/10.21608/ejss.2021.107134.1480>
5. Feduniak, I., Hurska, I. (2020). Development of grain production as a basis for food security in conditions of globalism. *Efektivna ekonomika* [Online], 5, available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7900> (Accessed 10 Jul 2024). <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.5.78>
6. Haghghi, M., Teixeira da Silva, J. A. (2014). The effect of carbon nanotubes on the seed germination and seedling growth of four vegetable species. *J. Crop Sci. Biotechnol.*, 17, 201–208. <https://doi.org/10.1007/s12892-014-0057-6>
7. Injac, R., Prijatelj, M., Strukelj, B. (2013). Fullerene nanoparticles: toxicity and antioxidant activity. *Methods in molecular biology*, 1028, 75–100. <https://doi.org/10.1007/978-1-62703-475-3>
8. Khodakovskaya, M. V., Kim, B. S., Kim, J. N., Alimohammadi, M., Dervishi, E., Mustafa, T., Cernigla, C. E. (2013). Carbon nanotubes as plant growth regulators: effects on tomato growth, reproductive system, and soil microbial community. *Small (Weinheim an der Bergstrasse, Germany)*, 9 (1), 115–123. <https://doi.org/10.1002/sml.201201225>
9. Mondal, A., Basu, R., Das, S., Nandy, P. (2011). Beneficial role of carbon nanotubes on mustard plant growth. *J Nanopart Res.* <https://doi.org/10.1007/s11051-011-0406-z>
10. Ozfidan-Konakci, C., Alp, F. N., Arikan, B., Elbasan, F., Cavusoglu, H., Yildiztugay, E. (2022). The biphasic responses of nanomaterial fullerene on stomatal movement, water status, chlorophyll a fluorescencetransient, radical scavenging system and aquaporinrelated gene expression in *Zea mays* under cobalt stress. *Sci. Total Environ.*, 826, 154213. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.154213
11. Prylutska, S. V., Tkachenko, T. A., Tkachenko, V. V. (2023). Application of Carbon Nanomaterials for the Regulation of Stress Resistance in Agricultural Plants. *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*, 21, 923–944. (in Ukrainian).
12. Prylutska, S.V., Franskevych, D.V., Yemets, A.I. (2022). Cellular Biological and Molecular Genetic Effects of Carbon Nanomaterials in Plants. *Cytol. Genet.*, 56, 351–360. <https://doi.org/10.3103/S0095452722040077>
13. Sadenova, M., Kulenova, N., Gert, S., Beisekenov, N., Levin, E. (2023). Innovative Approaches for Improving the Quality and Resilience of Spring Barley Seeds: The Role of Nanotechnology and Phytopathological Analysis. *Plants*, 12, 3892. <https://doi.org/10.3390/plants12223892>
14. Schuetze, C, Ritter, U, Scharff, P, Bychko, A, Prylutska, S, Rybalchenko, V, Prylutsky, Yu. (2011). Interaction of N-fluorescein-5-isothiocyanate pyrrolidine-C<sub>60</sub> compound with a model bimolecular lipid membrane. *Mater Sci Engineer*, 31(5), 1148–1150. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2011.02.026>
15. Taha, R. A., Hassan, M. M., Ibrahim, E. A. Abou Baker N. H., Shaaban E. A. (2016). Carbon nanotubes impact on date palm *in vitro* cultures. *Plant Cell Tiss Organ Cult.*, 127, 525–534. <https://doi.org/10.1007/s11240-016-1058-6>
16. Wang, Ch., Zhang, H., Ruan, L., Chen, L., Li, H., Chang, X.-L., Zhang, X., Yang, S.-T. (2016). Bioaccumulation of <sup>13</sup>C-fullerene nanoparticles in wheat. *Environ. Sci.: Nano*, 4 (3), 799–805. <https://doi.org/10.1039/C5EN00276A>
17. Xiong, J. L., Li, J., Wang, H. C., Zhang, C. L., Naeem, M. S. (2018). Fullerol improves seed germination, biomass accumulation, photosynthesis and antioxidant system in *Brassica napus* L. under water stress. *Plant physiology and biochemistry: PPB*, 129, 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.026>
18. Yadav, A., Yadav, K., Abd-Elsalam, K.A. (2023). Nanofertilizers: Types, Delivery and Advantages in Agricultural Sustainability. *Agrochemicals*, 2, 296–336. <https://doi.org/10.3390/agrochemicals2020019>
19. Yan, S., Zhao, L., Li, H., Zhang, Q., Tan, J., Huang, M., He, S., Li, L. (2013). Single-walled carbon nanotubes selectively influence maize root tissue development accompanied by the change in the related gene expression. *Journal of hazardous materials*, 246–

- 247, 110–118.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.12.013>
20. Kole, C., Kole, P., Randunu, K. M., Choudhary, P., Podila, R., Ke, P. C., Rao, A. M., Marcus, R. K. (2013). Nanobiotechnology can boost crop production and quality: first evidence from increased plant biomass, fruit yield and phytomedicine content in

bitter melon (*Momordica charantia*). *BMC biotechnology*, 13, 37. <https://doi.org/10.1186/1472-6750-13-37>.

## EFFECT OF FULLERENE C60 ON THE MORPHOMETRIC INDICATORS OF WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

**Ye.O. Didur, S.V. Prylutska, T.A. Tkachenko**

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Faculty of Plant Protection, Biotechnology and Ecology, Department Plant Physiology, Biochemistry and Bioenergetics, Heroiv Oborony Str., 15, Kyiv, 03041, Ukraine*  
[ttkach82@gmail.com](mailto:ttkach82@gmail.com)

*It was investigated the impact of fullerene C60 carbon nanoparticles on the morphometric parameters of winter wheat. In agriculture, the main sources of carbon input to the soil are of organic origin, at the same time, nanoparticles are new promising means that can improve the assimilation of this element, and considering its functions, the productivity of plants. The aim of this study was to explore the effect of a colloidal solution of C60 fullerene in different concentrations (0.1; 0.2; 0.5; 1.0 µg/ml) on the morphometric indicators of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. C60 fullerenes in an aqueous colloidal solution were synthesized and characterized in the Institute of Chemistry and Biotechnology of the Technical University of Ilmenau (Germany). Certified winter wheat seeds of two varieties Akter and Patras from the official distributor DSV (Germany) in Ukraine were used in the work. Pre-sowing treatment of the wheat seeds of the experimental groups included their sterilization and soaking in colloidal aqueous solutions of C60 fullerene in concentrations of 0.1 µg/ml, 0.2 µg/ml, 0.5 µg/ml, 1 µg/ml during 2 h 45 min. It was measured the following morphometric parameters: length of shoots, length of roots, total length and raw weight of the plant.*

*Fullerene C60 at the concentration of 0.2 µg/ml characterized the most pronounced effect on the length of shoots and roots of Akter wheat seedlings, a statistically significant increase of these indicators by 27.0% and 28.1%, respectively, compared to control (untreated) plants. In winter wheat plants of the Patras variety, the fullerene C60 at the concentration of 0.2 µg/ml also caused the most pronounced changes in morphometric indicators, which, however, were not similar in comparison with the Akter variety. On the contrary, the length of Patras wheat shoots decreased by 22.9%, while the total length of plants and their raw weight increased significantly - by 38.9% and 52.9%, respectively, compared to the control group. Thus, it can be proposed that the effects of fullerene C60 depend not only on the dose and method of application, but also on the individual characteristics of the plants and, in particular, their variety.*

*Keywords: fullerene C60, seeds, winter wheat, morphometric indicators.*

*Отримано редколегією 26.09.2024 р.*

### ORCID ID

Єлизавета Дідур: <https://orcid.org/0009-0006-7660-1234>

Світлана Прилуцька: <https://orcid.org/0000-0001-5280-8341>

Тетяна Ткаченко: <https://orcid.org/0000-0002-7590-8879>