

РОСТОВІ ПРОЦЕСИ ПШЕНИЦІ ТВЕРДОЇ (*TRITICUM DURUM* DEST.) НА ГРАДІЄНТІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ФОРМАЛЬДЕГІДУ У МІКРОКОСМНИХ МОДЕЛЯХ

О.В. Мудрак¹, Т.В. Морозова²

¹ КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти» (м. Вінниця, Україна)
e-mail: ov_mudrak@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1776-6120

² Національний транспортний університет (м. Київ, Україна)
e-mail: tetiana.morozova@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4836-1035

За сучасних умов на тлі воєнного вторгнення РФ в Україну відбувається зростання загроз екологічній безпеці держави, зокрема внаслідок порушення технологічного режиму функціонування численних потенційно небезпечних об'єктів. Особливу увагу слід приділити таким домішкам, як завислі речовини (аерозолі, пил), монооксид вуглецю, двоокис азоту, формальдегід, концентрації яких у повітрі останнім часом стрімко збільшуються. Формальдегід — один із найвідоміших забруднювачів повітря, який є постійним компонентом атмосфери. Середній вміст формальдегіду в повітрі по місцях України у довосній період перевищував гранично допустиму концентрацію. Його значне зростання істотно залежить від метеорологічних умов. Порівняно з іншими домішками проявляється чітка сезонна динаміка зі збільшенням концентрації в літній період. Хід місячних концентрацій формальдегіду змінюється залежно від температури повітря й інтенсивності прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню. У статті здійснено узагальнення наукових даних щодо особливостей впливу формальдегіду на ростові процеси *Triticum durum* Dest. Фітотестування здійснювали шляхом формування мікрокультиваторів і висаджування в них каліброваних насінин пшениці сорту Фаворит. Предметом дослідження слугували колеоптилі — модельні об'єкти, чутливі до впливу екзогенних чинників, відокремлені від тридобових етильованих проростків. На основі застосування методу мікрокосмних моделей показано інгібування росту надземної частини проростків *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду, яка впливає на швидкість проросту колеоптилів. Встановлено, що із підвищенням концентрації природних колеоптилів зменшується. Обґрунтовано, що значення ефективної концентрації (EC50) становить 0,875 ГДК. Визначено інгібування проростання насіння *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду за впливу всіх досліджених концентрацій. Найменший відсоток пророслого насіння (5,6%) виявлено за концентрації, що відповідає гранично допустимій. Реакція насіння пшениці на концентрацію формальдегіду, що відповідає 0,1 ГДК і 2 ГДК виявилася практично однаковою (28,6% і 30,3%, відповідно). Найбільший відсоток проростання насіння (82,2%) відмічено за впливу формальдегіду у концентрації, на рівні 0,5 ГДК.

Ключові слова: фітотоксичність, колеоптилі, зародкові корінці, аерогенне забруднення, фітотестування.

ВСТУП

За сучасних умов на тлі воєнного вторгнення РФ в Україну зростають загрози екологічній безпеці держави, зокрема внаслідок порушення технологічного режиму функціонування численних потенційно небезпечних об'єктів. Антропогенне забруднення компонентів довкілля і екоцид зумовлюють необхідність санітарно-гігієнічного і біологічного моніторингу екзогенних токсикантів. Особливу увагу

приділяють завислим речовинам (аерозолі, пил), сполукам Нітрогену і формальдегіду, концентрації яких у повітрі стрімко збільшуються. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), середній вміст формальдегіду в повітрі урбоєкосистем коливається від 0,001 до 0,02 мг/м³, у випадку інтенсивного автомобільного руху чи несприятливих метеорологічних умов для розсіювання (приземні інверсії, високі температури повітря) її вміст може досягати 0,1 мг/м³ [1]. Аналіз інтерактивних даних

щодо концентрації формальдегіду в повітрі м. Києва, показав значне перевищення його гранично допустимої концентрації (ГДК).

Каліфорнійським природоохоронним агентством (Cal/EPA) формальдегід, або метаналь визнаний токсичною речовиною, Агентством із захисту навколишнього середовища США (U.S. EPA) – канцерогенною. Формальдегід посилює токсичну дію метанолу (метилового спирту) при отруєнні. Відповідно до біолого-фізико-хімічної класифікації він вважається токсичною речовиною другого класу небезпеки, його гігієнічні нормативи в повітрі становлять: максимально разова гранично допустима концентрація (ГДК м.р.) – 0,035 мг/м³; середньої добова гранично допустима концентрація (ГДК с.д.) – 0,003 мг/м³ [2].

Мета роботи – з’ясування особливостей ростових процесів *T. durum* Des. на градієнті концентрації формальдегіду.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Важливим завданням у системі екологічного моніторингу є отримання достовірної й об’єктивної інформації про якість навколишнього середовища та стан біоти. Останнім часом одним із стабільних забруднювачів повітря міст є формальдегід [3], високі концентрації якого стають

серйозною проблемою [4]. Це постійний компонент атмосфери та один із найвідоміших забруднювачів складників доквілля. У циклі окиснення метанолу і загалом переробки палива він є проміжною речовиною (рис. 1).

Його середній уміст у повітрі істотно залежить від метеорологічних умов. Хід місячних концентрацій формальдегіду змінюється залежно від температури повітря й інтенсивності прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, зокрема, проявляється чітка сезонна динаміка зі збільшенням концентрації в літній період. Формальдегід належить до атмосферних забруднювачів, що надходять у повітря від значної кількості різноманітних джерел. Основними джерелами викидів є автомобільний транспорт, фотохімічні реакції і процеси перетворення CH₄, CH₃OH, HCO₂H, CH₄-хCl_x [1; 4–7], деревообробна промисловість. Формальдегід використовується і виділяється у доквілля під час виготовлення фанери, пресованої деревини, деревостружкової плити (ДСП), дрібнодисперсної фракції дерева (ДФД). Він є мономером у поліконденсаційних полімерах – як-от фенол-, меламін- і казеїнформальдегідні смоли.

Формальдегід дуже поширений і в житлових приміщеннях (меблі, ДСП, полімерні,

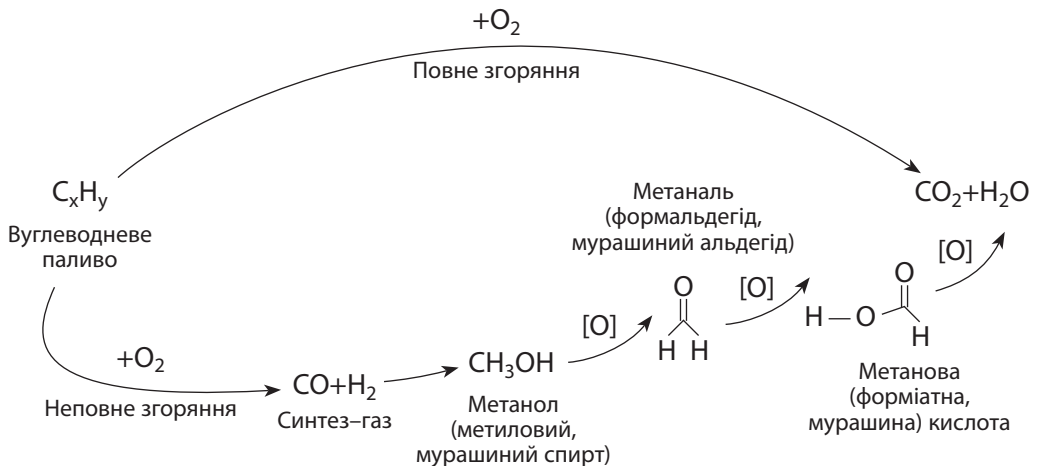


Рис. 1. Метаналь (формальдегід) у циклі згоряння палива

будівельні й оздоблювальні матеріали, тютюновий дим, продукти згоряння побутового газу). У літературі наявні дані щодо інших смол на основі формальдегіду (PF, MF, MUF, RF і PRF), які можуть розглядатися, як замітники високовипромінювальних смол. Їхнє використання ефективно скорочує, а то й усуває (до фонових рівнів) викиди формальдегіду і запобігає несприятливому впливу на довкілля. У дослідженнях Бехта П.А. та співавт. (2016) [8] доведено доцільність використання деревного волокнистого шламу як наповнювача клеїв для виготовлення фанери: застосовуються відходи виробництва, зменшується токсичність фанери.

У наукових джерелах є дані щодо мутагенної активності формальдегіду. Він безпосередньо впливає на нуклеопротейдну речовину, блокує амінокислоти в структурі генних білків, зокрема виявлено спадкові зміни у *Drosophila melanogaster* Mg., бактерій і рослин. Формальдегід здійснює загальнотоксичну дію на організм людини, є алергеном і канцерогеном, проявляє мутагенну активність на певних етапах розвитку організмів, зокрема в період реплікації ДНК на ембріональних стадіях. Токсич-

ність формальдегіду добре вивчена в експериментах на тваринах [9]. Вплив формальдегіду на рослини маловивчений.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Фітотестування проводили шляхом формування мікрокосмних моделей (мікрокультиваторів) і висаджування в них каліброваних насінин пшениці сорту Фаворит. Предметом дослідження слугували модельні об'єкти, чутливі до впливу екзогенних чинників, відокремлені від трибових проростків. Підготовку рослинного матеріалу робили за стандартними методиками [10], довжину корінців [11], посівну якість, згідно з ДСТУ 4138-2002. Вплив формальдегіду здійснювали за авторською методикою «обкурювання» насіння та проростків. Концентрації формальдегіду вибирали на основі літературних даних, з огляду на значення ГДК для рослин. Алгоритм дослідження представлено на схемі (рис. 2).

Швидкість росту відрізків колеоптилів пропорційна величині тургорного тиску (F) і відносному часу знаходження зв'язків



Рис. 2. Алгоритм визначення токсичності формальдегіду

у розімкнутому стані. Рівняння приросту колеоптилів:

$$\frac{dl}{dt} = k_{\text{эф}} \cdot l; \quad k_{\text{эф}} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot R \cdot T}{V_b} \ln a_b,$$

де R – універсальна газова стала; T – температура; l – розмір відрізка колеоптилю наприкінці досліду, мм; $k_{\text{эф}}$ – ефективна константа швидкості приросту (0,13+0,01 для розчину); t – час впливу досліджуваної речовини; α, β – емпіричні параметри, що визначають вплив тургорного тиску і відносного часу знаходження пектинової речовини в розімкненому стані для зростання колеоптилів; V_b – парціальний молярний об’єм води в клітині; a_b – активність води в клітині.

Після розв’язування рівняння набуває вигляду:

$$l = l_{\text{max}} \left(1 - e^{-kt} \right),$$

де l_{max} – максимальний приріст відрізків колеоптилів, який залежить від відносної швидкості руйнування і утворення полісахаридних зшивок. Зі збільшенням токсиканта у середовищі l_{max} зменшується.

Якщо гіпотеза про те, що під час надходження із розчину в цитоплазму токсикант негативно впливає на обмінні процеси в рослинній клітині, то граничний розмір колеоптильного сегмента в середовищі з токсикантом подано так:

$$l_{\text{max}} = l_{\text{max}}^0 \cdot e^{-\delta_i \cdot f_i} \cdot c_i.$$

Розраховували індекси:

- індекс схожості насіння (IC):

$$IC = \frac{NGS_d}{NGS_k} \cdot 100\%;$$

- індекс кореня (IK):

$$IK = \frac{RL_d}{RL_k} \cdot 100\%;$$

- індекс пагона (III):

$$III = \frac{SL_d}{SL_k} \cdot 100\%,$$

де NGS_d і NGS_k – кількість насіння, що проросло у дослідному і контрольному

варіантах експерименту, відповідно; RL_d і RL_k – довжина первинного корінця у досліді й на контролі; SL_d і SL_k – довжина первинного пагона у дослідному і контрольному варіантах. Інтегральним кількісним показником морфофункціональних змін біотестора слугував індекс проростання насіння (III), який розраховували за формулою [12]:

$$III = \frac{IC \cdot IK \cdot III}{100\% \cdot 100\%}.$$

Математичну обробку проводили варіаційно-статистичним методом, розрахунки здійснювали за допомогою редактора MS Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Здатність переносити несприятливі умови залежить від умов формування рослини, впливу чинників та їх поєднань. У період до появи сходів проростки особливо чутливі до зміни навколишнього середовища, сильна дія стресових чинників у цей період призводить до аномалій розвитку і видозмін. За впливу на колеоптилі пшениці формальдегіду у концентрації 0,5 ГДК спостерігається незначне стимулювання їх приросту (на 28,7%), за впливу 2 ГДК – достовірне пригнічення на 26,1%. За результатами тесту Шапіро–Вілка встановлено, що за впливу концентрації 1,5 ГДК (stat=0,913, p=0,110), 0,5 ГДК (stat=0,906, p=0,064), ГДК (stat=0,905, p=0,062) та 2 ГДК (stat=0,921, p=0,155) розподіл має нормальний характер. Середні значення довжини колеоптилів на градієнті концентрації формальдегіду 2,92–3,4 мм (табл. 1), що свідчить про помірні негативні ефекти на ріст колеоптилів.

Дисперсія приросту колеоптилів за різних кратностей ГДК значно відрізняється, що може вказувати про неоднорідність ефектів.

Дисперсія приросту колеоптилів за різних кратностей ГДК значно відрізняється, що може вказувати про неоднорідність ефектів. Медіани зростання рослин нижчі, ніж середні значення, це свідчить про те,

Таблиця 1. Довжина колеоптилів *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду, мм

ГДК	Середнє значення	Медіана	min	max	Дисперсія
Контроль	3,220	3,0	2,2	4,0	0,25
0,1 ГДК	2,920	3,0	2,0	4,0	0,20232
0,25 ГДК	3,025	3,0	2,2	3,9	0,137425
0,5 ГДК	3,400	3,5	2,5	5,0	0,3
1,5 ГДК	3,330	3,25	3,0	4,0	0,13875
ГДК	3,270	3,0	2,5	4,0	0,1765
2 ГДК	3,050	3,0	2,0	3,5	0,1075

що в деяких випадках різні концентрації речовини можуть мати негативний вплив на окремі рослини. Встановлено, що у всіх групах дослідження спостерігається проростання насіння. До того ж max проростання зафіксовано у групі 0,5 ГДК, а min – 2 ГДК. Для оцінки статистичної значущості отриманих даних проведено ANOVA, виявлено статистично значиму різницю у середніх значеннях проростання між групами ($F=22,6$, $p<0,001$). Літературні дані показують, що температура прискорює гідроліз запасних речовин зернівки, дихання й накопичення сухої маси коренем і пагоном, що візуально відображається подовженням колеоптилю. Тому, можна припустити, що формальдегід здатний стимулювати

гідроліз запасних речовин. Виявлено пригнічення приросту колеоптилю *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду. Приріст колеоптилю зменшувався на 23–43% порівняно із контролем (рис. 3). Проведено оцінку фітотоксичного ефекту за ростовим тестом, де відзначено середній та високий його рівень для всіх досліджених концентрацій.

Ріст злакових значною мірою залежить від особливостей проростання насіння, зокрема енергії проростання [13]. Показник енергії проростання насіння до певної міри можна регулювати технологічними прийомами або підбором екологічних природних умов середовища. Насіння, яке швидко і дружно проростає, має високу енергію

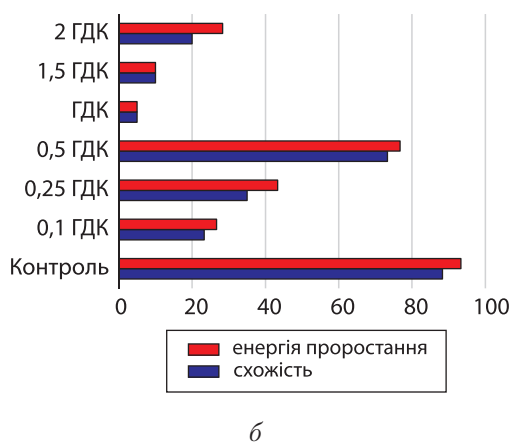
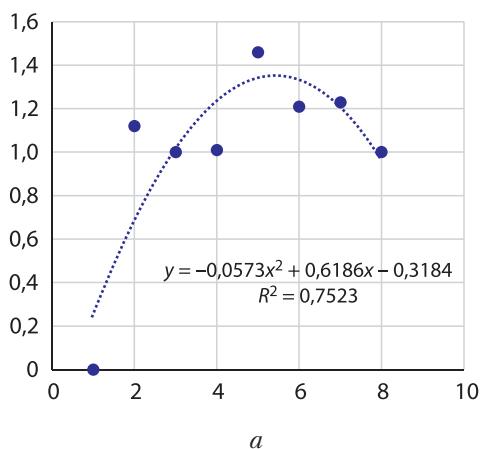


Рис. 3. Приріст колеоптилів (а, мм), енергія проростання (%) та індекс схожості (б) *Triticum durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду

проростання, дає дружні сходи, які менше пригнічуються бур'янами і більш стійкі до несприятливих умов [14]. Схожість — найважливіший показник якості насіння, її визначають за кількістю нормальних проростків, які з'явилися через сім діб пророщування [15; 16]. Аналіз проростання насіння *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду показав інгібування як схожості, так і енергії проростання насіння за впливу всіх досліджених концентрацій (див. *рис. 3*). Найменший відсоток пророслого насіння (5,6%) виявлено за концентрації формальдегіду, що відповідає гранично допустимій. За концентрації, що становить 1,5 ГДК проросло 11,3% насіння. Реакція насіння пшениці на концентрацію формальдегіду, що відповідає 0,1 ГДК і 2 ГДК виявилася практично однаковою (28,6% і 30,3%, відповідно). Найбільший відсоток проростання насіння (82,2%) відмічено за впливу формальдегіду у концентрації, на рівні 0,5 ГДК. За допомогою регресії розрахували коефіцієнт ефективності ($k_{\text{еф}}$). Побудували графік залежності приросту колеоптилів у часі на градієнті концентрації формальдегіду (*рис. 4*).

Отримано квадратичну функцію:

$$y = -65029x^2 + 248,21x - 0,7327;$$

$$R^2 = 0,7946.$$

Квадратичний поліном вказує на те, що за зростання концентрації формальдегіду приріст колеоптилів спочатку підвищу-

ється, але потім зменшується. Це типовий приклад квадратичної залежності між двома змінними. З огляду $R^2=0,7946$, можна стверджувати, що ця модель досить точно відображає залежність між концентрацією формальдегіду і приростом колеоптилів.

Отже, концентрація формальдегіду у дослідних варіантах впливає на швидкість приросту колеоптилів. Коефіцієнти детермінації свідчать, що дані відносно точні. Значення ефективної концентрації (EC_{50}), тобто концентрації, при якій приріст колеоптилів зменшується на 50% порівняно з контролем, становить 0,875 ГДК. Приріст колеоптилів знижується зі збільшенням концентрації розчину (*табл. 2*).

Усі досліджені концентрації формальдегіду стимулювали ріст кореня проростків у довжину (*рис. 5*). За впливу формальдегіду у концентрації 0,1 ГДК — на 221%, 1,5 ГДК — на 664%. У літературі вказано функціональну залежність між вегетативними органами та підземною частиною рослини.

На початкових етапах росту проросток використовує запасні речовини зернівки. Тому від біологічної повноцінності запасу, залежить характер, спрямованість та інтенсивність фізіологічних і біохімічних процесів упродовж вегетації рослини. До складу насіння входить вода і суха речовина, представлена органічними і мінеральними сполуками. Ріст є інтегральним показником функціонального стану рослини. Тому здатність інгібувати чи стимулювати

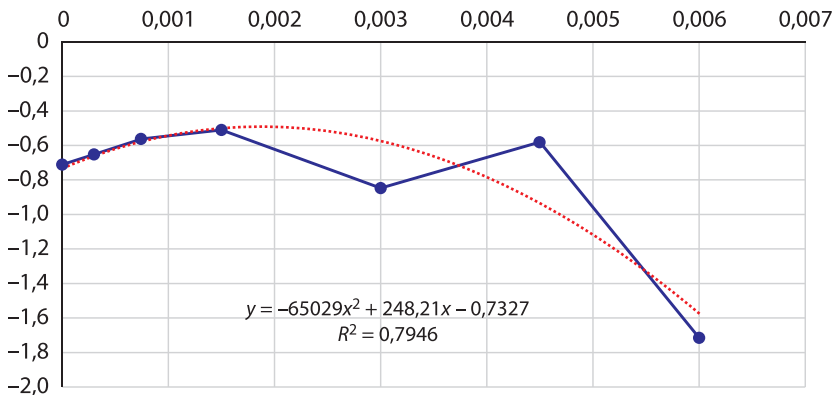
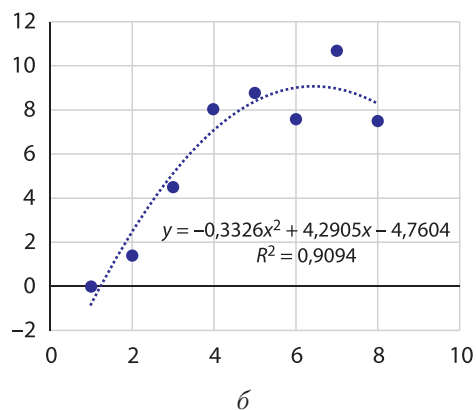
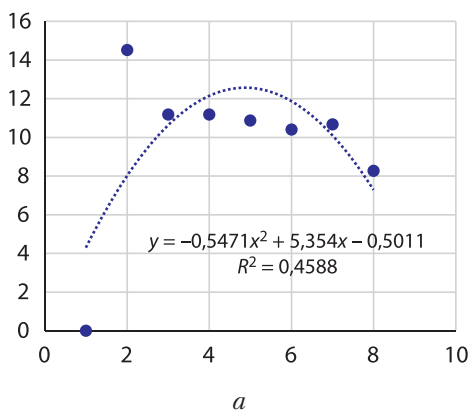
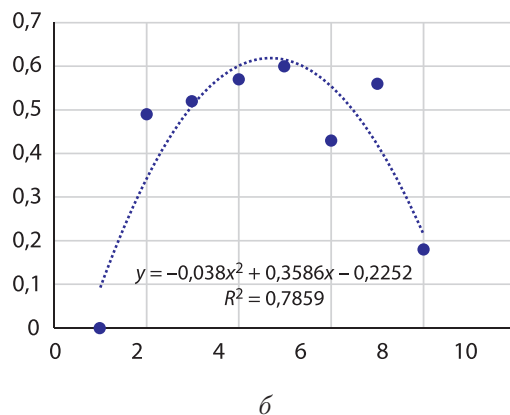
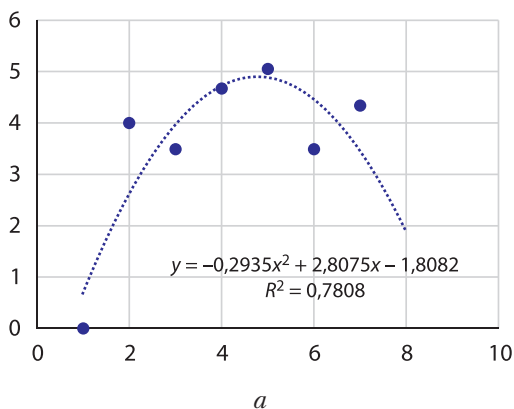


Рис. 4. Залежність приросту колеоптилів від концентрації формальдегіду

Таблиця 2. Приріст колеоптилів *Triticum durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду

Варіанти	C , мг/дм ³	Δl , мм	$k_{\text{эф}}$, мм/год	Коефіцієнт детермінації (R^2)
Контроль	0	0,49	0,017	0,95
0,1 ГДК	0,00030	0,52	0,018	0,99
0,25 ГДК	0,00075	0,57	0,024	0,97
0,5 ГДК	0,00150	0,60	0,028	0,99
ГДК	0,00300	0,43	0,014	0,93
1,5 ГДК	0,00450	0,56	0,024	0,98
2 ГДК	0,00600	0,18	0,007	0,91

Рис. 5. Індекс пагона (а) та індекс кореня (б) проростків *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду, %Рис. 6. Сира (а) й абсолютно суха біомаса (б) проростків *T. durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду, %

Таблиця 3. Нормовані і стандартизовані морфофункціональні показники біотестора

Варіанти	ІС	ІК	ІП	ІПН
Контроль	26,39	43,27	77,00	8,79
0,1 ГДК	39,64	77,50	77,00	23,66
0,25 ГДК	83,01	84,42	74,93	52,51
0,5 ГДК	5,66	72,98	71,69	2,96
ГДК	11,33	102,79	73,48	8,56
1,5 ГДК	22,65	72,12	57,02	9,31
2 ГДК	26,39	43,27	77,00	8,79

Примітка: ІС – індекс схожості насіння; ІК – індекс кореня; ІП – індекс пагона; ІПН – індекс проростання насіння.

ростові процеси як на рівні організму, так і окремих органів можна розглядати як один із найінформативніших показників токсичності середовища чи окремих чинників впливу [17; 18]. Для з'ясування біологічних ефектів впливу формальдегіду проводили морфометричний аналіз коренів і пагонів проростків із подальшим визначенням відповідних індексів.

Аналіз ростових процесів проростків *T. durum* Dest. показав інгібування росту надземної частини, натомість стимулювання росту коренів, що відбувалося на тлі підвищення сирової біомаси проростків. За

концентрації формальдегіду (ГДК і 2 ГДК) є зменшення величини абсолютно сухої біомаси проростків (табл. 3).

ВИСНОВКИ

Встановлено інгібування росту надземної частини проростків *Triticum durum* Dest. на градієнті концентрації формальдегіду. Відмічено, що концентрація формальдегіду впливає на швидкість приросту колеоптилів. Обґрунтовано, що приріст колеоптилів знижується зі збільшенням концентрації розчину, значення ефективної концентрації (EC_{50}) – 0,875 ГДК.

ЛІТЕРАТУРА

- Шевченко О.Г., Кульбіда М.І., Сніжко С.І. та ін. Рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва формальдегідом. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2014. № 14. С. 5–15. URL: <http://surl.li/oldmb>.
- Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць: наказ від 14.01.2020 р. №52. Міністерство охорони здоров'я України.
- Екологічний паспорт Чернівецької області. 2022. URL: <http://surl.li/piolz>.
- Tazaki K. et al. Environmental Survey of Indoor Air Pollution by Formaldehyde (FA) in Kanazawa. *J. of Aerosol. Research*. 2002. № 17 (4). P. 284–290.
- Motta O., Charlier B., De Caro F. et al. Environmental and Biological Monitoring of Formaldehyde inside A Hospital Setting: A Combined Approach to Manage Chemical Risk in Workplaces. *Journal of Public Health Research*. 2021. № 10 (1). DOI: <https://doi.org/10.4081/jphr.2021.2012>.
- Kirschner P. Determination of aldehydes. *Peak HP*. 1994. № 2. P. 7–10.
- Boeniger M.F. Formate in urine as a biological indicator of formaldehyde exposure. *Amer. Ind. Hyg. Assoc. Journal*. 1987. Vol. 48. № 11. P. 900–908.
- Бехта П.А., Салабай Р.Г., Салабай І.І., Ношенко Г.В. Зменшення вмісту формальдегіду у фанері, склеєній карбамідоформальдегідними клеями з використанням деревинного волокнистого шламу. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2016. Вип. 14. С. 265–272.
- National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH Manual of Analytical Method (NMAM). 2016. Accessed: September 4, 2020. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/nmam/default.html>.
- Колупаєв Ю.С. Стресові реакції рослин. Харків: ХДУ, 2001. 173 с.
- Руденко С.С., Костишин С.С., Морозова Т.В. Практикум із загальної екології. Чернівці: ЧНУ, 2013. 248 с.
- Гродзинський Д.М., Шиліна Ю.В., Куцокін Н.К. та ін. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії факторів різної природи. Київ: Фітосоціоцентр, 2006. 60 с.

13. Макрушин М.М., Макрушина Є.М. Насінництво. Сімферополь: ВД «Аріал», 2011. 476 с.
14. Шемавнюв В.І., Ковалевська Н.І., Мороз В.В. Насінництво польових культур. Дніпропетровськ, 2004. 230 с.
15. Насінництво й насіннезнавство польових культур / за ред. М.М. Гаврилюка. Харків, 2007. 214 с.
16. ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2002–12–28]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2003. 173 с.
17. Косаківська І.В. Стрес рослин: специфічні та неспецифічні реакції адаптаційного синдрому. *Укр. бот. журн.* 1998. Т. 55. № 6. С. 584–587.
18. Сельський В.К., Каниук Х.І., Верста О.М. та ін. Вплив природних розсолів Передкарпатського гірського прогину на морфофункціональні показники жита озимого (*Secale cereale* L.) та ячменю ярого (*Hordeum sativum* J.). *Вісник Прикарпатського нац. ун-ту імені Василя Стефаника. Сер.: Біологія.* 2012. Вип. XVII. С. 217–221. URL: <http://surl.li/oldob>.

REFERENCES

1. Shevchenko, O.H., Kulbida, M.I., Snizhko, S.I. et al. (2014). Riven zabrudnennia atmosferneho povitria mista Kyieva formaldehydom [The level of air pollution in the city of Kyiv with formaldehyde]. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal — Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 14, 5–15. URL: <http://surl.li/oldmb> [in Ukrainian].
2. Pro zatverdzhennia hihiiienichnykh rehlamentiv dopustymoho vmistu khimichnykh i biolohichnykh rechovyn v atmosfernomu povitri naselenykh mist: nakaz vid 14.01.2020 [On the approval of hygienic regulations for the permissible content of chemical and biological substances in the atmospheric air of settlements: order of 14.01.2020]. *Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy — Ministry of Health of Ukraine*, 173 [in Ukrainian].
3. Ekolohichnyy pasport Chernivets'koyi oblasti [Environmental passport of Chernivtsi region]. (2022). URL: <http://surl.li/piolz> [in Ukrainian].
4. Tazaki, K. et al. (2002). Environmental Survey of Indoor Air Pollution by Formaldehyde (FA) in Kanazawa. *J. of Aerosol. Research*, 17 (4), 284–290 [in English].
5. Motta, O., Charlier, B., De Caro, F. et al. (2021). Environmental and Biological Monitoring of Formaldehyde inside A Hospital Setting: A Combined Approach to Manage Chemical Risk in Workplaces. *Journal of Public Health Research*, 10 (1). DOI: <https://doi.org/10.4081/jphr.2021.2012> [in English].
6. Kirschner, P. (1994). Determination of aldehydes. *Peak HP*, 2, 7–10 [in English].
7. Boeniger, M.F. (1987). Formate in urine as a biological indicator of formaldehyde exposure. *Amer. Ind. Hyg. Assoc. Journal*, 48 (11), 900–908 [in English].
8. Bekhta, P.A., Salabai, R.H., Salabai, I.I. & Noshchenko, H.V. (2016). Zmenschennia vmistu formaldehydu u faneri, skleienii karbamidoformaldehydnymy kleiamy z vykorystanniam derevynnoho voloknystoho shlamu [Reduction of formaldehyde content in plywood glued with urea-formaldehyde adhesives using wood fiber sludge]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy — Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 14, 265–272 [in Ukrainian].
9. National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH Manual of Analytical Method (NMAM) (2016). Accessed: September 4, 2020. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/nmam/default.html> [in English].
10. Kolupaiev, Yu.S. (2001). *Stresovi reaktsii Roslyn [Plant stress responses]*. Kharkiv: KhDU [in Ukrainian].
11. Rudenko, S.S., Kostyshyn, S.S. & Morozova, T.V. (2013). *Praktykum iz zahalnoi ekolohii [General Ecology Practicum]*. Chernivtsi: ChNU [in Ukrainian].
12. Hrodzynskiy, D.M., Shylina, Yu.V., Kutsokon, O.M. et al. (2006). *Zastosuvannia roslynnykh test-system dlia otsynky kombinovanoi dii faktoriv riznoi pryrody [Plant Test Systems to Assess the Combined Effect of Factors of Different Nature]*. Kyiv: Fitosotsiotsentr, Application [in Ukrainian].
13. Makrushyn, M.M. & Makrushyna, Ye.M. (2011). *Nasinytstvo [Seed production]*. Simferopol [in Ukrainian].
14. Shemavnyov, V.I., Kovalevska, N.I. & Moroz, V.V. (2004). *Nasinytstvo polovykh kultur [Seed production of field crops]*. Dnipropetrovsk [in Ukrainian].
15. Havryliuk, M.M. (Ed.). (2007). *Nasinytstvo y nasynieznavstvo polovykh kultur [Seed Production and Seed Science of Field Crops]*. Kharkiv [in Ukrainian].
16. Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti [Seeds of agricultural crops. Methods of quality determination]. (2003). *DSTU 4138-2002 from 28th December 2002*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
17. Kosakivska, I.V. (1998). Stres roslin: spetsyifichni ta nespetsyifichni reaktsii adaptatsiinoho syndromu [Plant Stress: Specific and Non-Specific Reactions of the Adaptation Syndrome]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal — Ukrainian Botanical Journal*, 55 (6), 584–587 [in Ukrainian].
18. Selskyi, V.K., Kaniuk, Kh.I., Versta, O.M. et al. (2012). Vplyv pryrodnykh rozsoliv Peredkarpatskoho hirs'koho prohynu na morfo-funktsionalni pokaznyky zhyta ozymoho (*Secale cereale* L.) ta yachmeniu yaroho (*Hordeum sativum* J.) [Influence of Natural Brines of the Precarpathian Mountain Trough on the Morpho-Functional Parameters of Winter Rye (*Secale cereale* L.) and Spring Barley (*Hordeum sativum* J.)]. *Visnyk Prykarpatskoho nats. un-tu imeni Vasylia Stefanyka. Seria: Biolihiia — Visnyk Prykarpatskoho nats. Vasyl Stefanyk University. Series: Biology*, XVII, 217–221 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 18.01.2024