



УДК 632.92

Отримання толерантного до мікотоксинів матеріалу вівса в культурі *in vitro*

 В. І. Войтовська^{1*},  І. І. Миколайко², Т. М. Недяк¹, О. А. Потапович¹

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: vvojtovska6@gmail.com

²Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, вул. Садова, 2, м. Умань, 20300, Україна

Мета. Установити концентрації токсинів, тривалість їх культивування та отримати толерантний матеріал вівса до мікотоксинів у культурі *in vitro*. **Методи.** Як вихідний матеріал вівса брали дику форму № 12, сорти 'Декамерон', 'Дарунок', 'Дієтичний', 'Скарб України', 'Авголь', а також лінії № 493-27, 477-5, 399-38 і 425-19. Із колекції вівса був відібраний і розмножений матеріал, який висаджували на живильне середовище з додаванням різних концентрацій фузарієвої кислоти (від 10 до 600 мкг/л). За контрольний варіант слугувало модифіковане поживне середовище за прописом В5 і модифікаціями [GB + БАП (0,8 мг/л) + кінетин (1,0 мг/л) + цукроза (30,0 г/л)]. Контрольним варіантом обрано це ж середовище, на яке висаджували пагони сорту 'Синельниківський 1321' (стандарт). Кількість зразків в одному варіанті – 25 шт., три повторності. Пагони вівса з мікотоксинами культивували до 14 доби. Толерантні форми відбирали і пересаджували на безгормональне середовище із половинним вмістом мінеральних солей (1/2), а потім на середовище для ризогенезу. **Результати.** Установлено, що концентрації фузарієвої кислоти понад 100 мкг/л істотно впливали на життєздатність вихідного матеріалу вівса. Більшість матеріалу за концентрації від 200 до 600 мкг/л на сьому добу культивування із мікотоксинами було пригніченим, а за концентрації 400 мкг/л і більше – повністю загинуло. За концентрацій від 50 до 100 мкг/л культивувати пагони до 14 доби недоцільно, достатньо 7 або 10 діб, що дозволить отримати вищий вихід життєздатних пагонів вівса. Концентрації і тривалість культивування істотно впливали на біометричні показники вівса. **Висновки.** Рекомендовано додавати у живильне середовище фузарієву кислоту з концентрацією від 50 до 100 мкг/л, що дасть змогу отримати толерантні форми вівса: у дикої форми до 51 %, у сортів – до 38 %, у ліній – до 17 %.

Ключові слова: фузарієва кислота; концентрація; вихідний матеріал; життєздатність; біометричні показники.

Вступ

Овес – цінна продовольча і кормова культура, з якої виготовляють крупи, борошно, толокно, різні види печива, концентровані вироби. Відомо, що в посівах недобір урожаю спричиняють різні хвороби, тому створення стійких до них форм надзвичайно важливе.

Біотехнологічні методи дозволяють сьогодні створювати і проводити добір вихідного матеріалу толерантного і стійкого до різних хвороб. Одними із найбільш шкочинних вважаються мікотоксини.

Як вказують науковці [1, 2], мікотоксини – це здебільшого представники роду *Fusarium* (зокрема, види *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. sporotrichiella*, *F. equiseti*, *F. culmorum* та *F. stilphureum*), які утворюють токсичні сполуки, що є небезпечними, як для людей, так і для тварин.

Дослідження і створення вихідного матеріалу, стійкого до мікотоксинів, є надзвичайно важливим, адже вони мають негативний вплив на тварин і людей та призводять до негативних наслідків. Крім того, мікотоксини можуть виступають сильними подразниками та алергенами [3, 4].

Як вихідних матеріалів для вивчення токсичної дії використовують різні речовини, а саме: зеараленон – ЗН, фільтрат культуральної рідини (ФКР) гриба *F. graminearum*, дезоксініваленон –

ДОН та фузарієву кислоту. Для введення у штучні умови використовують різні частини рослин, проростки, насінні зачатки, пиляки та ін. [5, 6].

У дослідженнях науковців із сільськогосподарськими культурами вказано про використання здебільшого клітинної селекції, а на прикладі пшениці проведено використанням очищених токсинів *Fusarium* [7], які дозволяють отримати поліпшені показники якості і стійкий матеріал.

Автори, які вивчали стійкість до хвороб в огірка, а саме метод, який базується на відборі насіння різного матеріалу, стійкого до культури гриба *Fusarium oxysporum*, вказують, що стійкість рослин визначають лише після двох-трьох років у тепличних умовах [8].

Досліджено, що в ячменю 'Dissa' та 'W 193', калусні форми яких були отримані із незапліднених насінневих зачатків, культивували з токсинами за концентрації 100 % і стійкий матеріал отримали за концентрації 75 % [9].

Корня Т. М. та Ігнатова С. О. [10] вказують, що використання ФКР (фільтрат культуральної рідини) від 15 до 30 % *F. graminearum* у гібридів м'якої пшениці, дозволяє за короткий термін провести добір і отримати стійкі форми від 60 до 9 %.

За даними Т. В. Івченко і Г. В. Мозговської [11], для отримання стійких форм використовують різні речовини, зокрема і фільтрати *Fusarium solani* Sacc., що за використання різних способів його отримання та використанні живильного середовища Річардсона із 40 або 50 % вмістом ФКР можливо отримати до 50 % стійкого матеріалу.

Літературні дані вказують, що витяжки та ФКР можливо використовувати на різних культурах і здебільшого на калусних глобулах та культурах андро- і гіногенезу [12]. Так, у дослідженнях вказані позитивні результати впливу фузарієвої кислоти на калюси картоплі *in vitro*. У середовищі, яке містило нативну культуральну рідину патогена *Fusarium oxysporum* або *F. sambucinum* (50 %), калюсна тканина втрачала здатність до проліферації на 68–93 % [13].

У льону за розробленого способу та використання культури ізольованих тканин із додаванням до живильного середовища фузарієвої кислоти отримано толерантно стійкі лінії [14].

Проведені дослідження в культурі *in vitro* й отримання стійких до фузарієвої кислоти регенерантів з калюсних тканин томатів та експлантатів листя томата дозволяє відзначити, що концентрація фузарієвої кислоти варіювала від 50 до 300 мг/л [15, 16].

Фузарієва кислота (5-бутилпіколінова кислота) є вторинним метаболітом мікотоксином, що виробляється видами *Fusarium*, а саме *F. moniliforme*, *F. oxysporum* і *F. heterosporum*, які уражують сільськогосподарські продукти [17].

Важливо вказати, що у різних культур концентрація мікотоксинів варіює залежно від типу експлантів. У роботах доведено доцільність і отримання стійкості до фузаріозу генотипів у штучних умовах та насіння, можливо отримати толерантні форми за використання ФК [18].

Тому доцільним є вивчення й отримання вихідного матеріалу, толерантно стійкого до мікотоксинів у вівса, адже таких досліджень у літературі не виявлено.

Мета досліджень – установити концентрації токсинів, тривалість їх культивування та отримати толерантний матеріал вівса до мікотоксинів у культурі *in vitro*.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в лабораторії біотехнології Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України.

Для вивчення були обрані такі вихідні матеріали вівса: дика форма № 12, сорти 'Декамерон', 'Дарунок', 'Дієтичний', 'Скарб України', 'Авголь', а також лінії № 493-27, 477-5, 399-38 і 425-19.

Із колекції вівса був відібраний і розмножений матеріал, який висаджували на живильне середовище з додаванням різних концентрацій токсинів, а саме фузарієвої кислоти. За контрольний варіант слугувало модифіковане поживне середовище за прописом В5 і модифікаціями (GB + БАП (0,8 мг/л) + кінетин (1,0 мг/л) + цукроза (30,0 г/л). Контрольним варіантом обрано це ж середовище, на яке висаджували пагони сорту 'Синельниківський 1321' (стандарт). Кількість зразків в одному варіанті – 25 штук, три повторності.

Фузарієву кислоту та інші складники середовищ придбано Верхняцькою дослідно-селекційною станцією у фірм «Синбіас» та MedchemExpress. Ціна фузарієвої кислоти варіювала до 2000 грн, фасування речовини – 100 мг.

Готовий розчин фузарієвої кислоти додавали у різних концентраціях (від 10 до 600 мкг/л) до живильного середовища. Тривалість досліджень відбувалась до 14 діб культивування пагонів з мікотоксинами. Толерантні форми відбирали і пересажували на безгормональне середовище із половинним вмістом мінеральних солей (1/2) та потім на середовище для ризогенезу.

Переваги готових розчинів значні, адже не потрібно вирощувати гриби й отримувати із них фільтрати.

Приготування розчинів, безпека, стерильність інструментів, обліки і хід виконання робіт у лабораторії здійснювали за рекомендаціями [20].

Визначали під час досліджень: життєздатні пагони (%), висоту (см), кількість пагоноутворення, (шт.) згідно з [21–23].

Статистичну обробку, узагальнення і аналіз експериментальних результатів лабораторних досліджень, спостережень здійснювали за допомогою методів дисперсійного аналізу на ПК [24].

Результати досліджень

Концентрації мікотоксинів були обрані після аналізу літературних джерел та у різних кількостях введені у живильне середовище – до 600 мкг/л. Як видно із даних таблиці 1, де концентрації варіювали від 100 до 600 мкг/л, найвища життєздатність відмічена у диких форм, а найменша – у досліджуваних ліній вівса. Так, на 3 добу культивування з мікотоксинами за концентрації 100 мкг/л у диких форм порівняно з контрольним варіантом життєздатність становила 97 %, за концентрації 200 мкг/л – 80, 300 мкг/л – 71, а із збільшенням від 400 до 600 мкг/л – 52–33 %, що було найвищим показником.

У досліджуваних сортів на цю ж добу культивування за концентрацій 100 мкг/л було відмічено життєздатність від 97 до 92 %, у ліній – від 93 до 88 %.

Доцільно відмітити, що найвищу життєздатність серед сортів було визначено у 'Дієтичний' і 'Авголь' (97 і 96 %) за концентрації 100 мкг/л, а найменшу – в 'Декамерон' (92 %).

Важливим слід вказати, що із збільшенням концентрації мікотоксинів, а саме фузарієвої кислоти, до 200 мкг/л в усіх досліджуваних варіантах відзначено зменшення життєздатності вівса та із подальшим її збільшенням цей показник зменшувався.

Експериментальні дослідження на 3 добу культивування із максимальними концентраціями 500 і 600 мкг/л дозволяють відмітити, що у сортів життєздатність варіювала від 33 до 20 %, у ліній – від 23 до 11 %.

Концентрація 400 мкг/л на третю добу була згубною для пагонів вівса: у сортів життєздатних було отримано від 48 до 42 %, у ліній – від 37 до 32 % (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив концентрації мікотоксинів на життєздатність вівса в культурі *in vitro* на 3 добу, %

Вихідний матеріал	Концентрація, мкг/л					
	100	200	300	400	500	600
Контроль	99					
Сорт						
'Скарб України'	94	86	66	48	33	21
'Авголь'	96	88	62	45	31	23
'Декамерон'	92	84	58	42	30	20
'Дієтичний'	97	85	55	44	32	25
'Дарунок'	95	81	52	42	33	28
Лінія						
№ 493-27	93	77	44	37	22	13
№ 399-38	91	69	41	33	20	11
№ 477-5	90	66	47	31	20	15
№ 425-19	88	51	45	35	23	18
Дика форма						
№ 12	97	80	71	52	41	33
НІР _{0,05}	0,9	1,3	1,1	1,0	0,8	0,7

Таким чином, на третю добу культивування визначено, що концентрації понад 200 мкг/л згубно впливали на життєздатність пагонів досліджуваних матеріалів.

Дослідження на сьому добу культивування вівса вказують, що життєздатність матеріалу значно змінилась і зменшилась. За концентрацій 500 і 600 мкг/л майже всі сорти і лінії вівса загинули, а дикі форми мали життєздатність від 1–3 %.

За концентрації 400 мкг/л у сортів досліджуваний показник становив від 8 до 6 %, у ліній – від 5 до 2 % і у диких форм – 8 %.

Введення в живильне середовище концентрації 200 мкг/л дозволяє отримати життєздатність у сортів від 17 до 11 %, у ліній – від 4 до 11 % (найменше) і в диких форм – 33 % (найбільше).

З усіх досліджуваних концентрацій найоптимальнішою була 100 мкг/л, яка забезпечувала життєздатність у сортів від 30 до 51 %, у ліній – від 18 до 30 %, у диких форм – до 56 % (табл. 2).

Таблиця 2

**Вплив концентрації мікотоксинів на життєздатність вівса
в культурі *in vitro* на 7 добу, %**

Вихідний матеріал	Концентрація, мкг/л					
	100	200	300	400	500	600
Контроль	98					
Сорт						
‘Скарб України’	30	10	7	3	0	0
‘Авголь’	51	17	8	4	2	1
‘Декамерон’	30	11	6	2	0	0
‘Дієтичний’	46	15	7	5	2	1
‘Дарунок’	35	12	6	3	0	0
Лінія						
№ 493-27	30	11	5	2	0	0
№ 399-38	24	8	3	2	1	0
№ 477-5	20	6	4	1	0	0
№ 425-19	18	4	2	0	0	0
Дика форма						
№ 12	56	33	8	5	3	1
НІР _{0,05}	1,0	1,2	0,4	0,2	–	–

Таким чином, отримані дані дозволяють зробити висновок, що найоптимальнішою на 7 добу культивування була концентрація 100 мкг/л, а всі інші негативно впливали на життєздатність пагонів вівса.

На нашу думку, такі концентрації (200–500 мкг/л), що досліджувались на інших культурах можливо й були позитивними за використання культури калюсних тканин, але для пагонів вони, як вказують дослідження, є згубними.

Виходячи із попередніх дослідів, було проведено дослідження за використання концентрацій до 100 мкг/л.

Закладені дослідження на 3 та до 14 доби культивування дозволили вказати, що концентрації від 10 до 30 мкг/л не мають впливу на зміну життєздатності в усіх досліджуваних матеріалів і здебільшого відповідають контрольному варіанту, без модифікацій токсинами. Тому, нами були показані дослідження від 40 до 90 мкг/л, які більш широко висвітлять вплив концентрацій речовини на життєздатність пагонів вівса.

Дослідженнями відмічено, що на третю добу культивування за концентрацій від 40 до 90 мкг/л істотних змін не було виявлено порівняно із контрольним варіантом, який становив 99 % життєздатних пагонів вівса. Крім того, у диких форм змін не було відмічено за досліджуваних концентрацій і в усіх варіантах не виявлено жодних змін з матеріалом.

За концентрації 50 мкг/л у сортів відмічено варіювання від 98 до 95 %, у ліній – від 95 до 94 %.

За концентрації 60 і 70 мкг/л у сортів зафіксовано незначне зменшення життєздатності від 98 до 96 % та від 95 до 90 % у ліній.

Зі збільшенням концентрації до 80 і 90 мкг/л було визначено у сортів життєздатність у межах від 98 до 94 % та у ліній від 94 до 89 % відповідно.

Важливо відзначити, що лінії вівса в усіх досліджуваних варіантах, як з високими, так більш низькими концентраціями мікотоксинів, значно поступалися за життєздатністю сортам та дикій формі. Остання переважала всі інші матеріали навіть за зовнішнім виглядом (який виражався у пожовтінні, пригніченні й відмиранні) і пагони здебільшого були світло зеленого кольору (табл. 3).

Таблиця 3

**Культивування матеріалу з мікотоксинами та життєздатність вівса на 3 добу
за концентрацій до 100 мкг/л, %**

Вихідний матеріал	Концентрація, мкг/л					
	40	50	60	70	80	90
Контроль	99					
Сорт						
‘Скарб України’	98	97	96	96	95	95
‘Авголь’	99	98	97	97	97	97
‘Декамерон’	97	96	95	94	94	94
‘Дієтичний’	99	98	98	97	97	98
‘Дарунок’	98	97	97	96	96	96
Лінія						
№ 493-27	97	95	95	94	94	94
№ 399-38	95	94	93	93	92	92
№ 477-5	97	95	94	92	90	91
№ 425-19	96	94	91	90	90	89
Дика форма						
№ 12	99	98	98	98	98	98
НІР _{0,05}	0,3	0,2	0,3	0,4	0,2	0,5

Культивування матеріалу на живильних середовищах із мікотоксинами на сьому добу за концентрацій до 100 мкг/л вказує, що життєздатність пагонів у сортів вівса становила від 87 до 36 %, у ліній – від 67 до 20 %, у диких форм – від 90 до 60 %.

Дика форма вівса на сьому добу за концентрації 40 мкг/л мала 90 % матеріалу, за 50 мкг/л – 80, 60 мкг/л – 77, 70 мкг/л – 72, а 80 і 90 мкг/л – 66 і 60 % відповідно, що було найкращим результатом.

У сортів за досліджуваних концентрацій відмічено зменшення на сьому добу і за 40 і 50 мкг/л – життєздатних пагонів отримано від 87 до 70 %, 60 і 70 мкг/л – від 80 до 54 %, 80 і 90 мкг/л – від 60 до 36 % відповідно.

Доцільно відмітити, що серед сортів стійкими були ‘Авголь’ і ‘Дієтичний’, чутливими – ‘Декомерон’, у ліній стійкими відзначено № 477-5 і № 493-27, а чутливими – № 399-38 і № 477-5.

Найменший рівень життєздатних пагонів вівса отримано в ліній за концентрації 80 і 90 мкг/л – від 46 до 20 %, за 60 і 70 мкг/л – від 56 до 41 %, за 40 і 50 мкг/л – від 67 до 54 % (табл. 4).

Таблиця 4

**Культивування матеріалу з мікотоксинами та життєздатність вівса на 7 добу
за концентрацій до 100 мкг/л, %**

Вихідний матеріал	Концентрація, мкг/л					
	40	50	60	70	80	90
Контроль	99					
Сорт						
‘Скарб України’	78	73	67	54	47	36
‘Авголь’	87	85	80	76	64	59
‘Декамерон’	75	70	65	53	45	38
‘Дієтичний’	85	83	78	72	60	52
‘Дарунок’	81	75	63	51	44	39
Лінія						
№ 493-27	65	60	53	50	46	37
№ 399-38	60	54	48	41	36	25
№ 477-5	67	60	56	50	35	23
№ 425-19	65	60	53	47	30	20
Дика форма						
№ 12	90	80	77	72	66	60
НІР _{0,05}	0,9	1,1	0,8	1,2	1,3	1,0

Експериментальні дослідження на 14 добу культивування за концентрацій до 100 мкг/л вказують, що спостерігалась закономірність така як і на 7 добу досліджень.

Проте, після третьої доби культивування і до сьомої відмічено більш інтенсивне зменшення життєздатних форм вівса, ніж між 7 і 14 добою.

Встановлено, що на 14 добу найвищі показники життєздатності були в дикої форми в усіх варіантах – від 85 до 51 %. Найменшу життєздатність і збереженість матеріалу отримано в лінійних форм вівса. У ліній № 477-5, 493-27 і 425-19 за концентрації 40 мкг/л визначено 57 і 55 % пагонів, а найменший показник у лінії № 399-38 – 50 %. Надалі за інших концентрацій показник життєздатних пагонів змінювався, але за концентрації 90 мкг/л у лінії № 477-5 він становив 221 %, № 493-27 – 27, № 425-19 – 23, № 399-38 – 17 %.

У сортів перевагу (концентрації 40 і 90 мкг/л) відмічено в 'Авголь' – 77 і 45 %, 'Дієтичний' – 75 і 38% та 'Дарунок' – 71 і 36 %. Сорти 'Скарб України' і 'Декамерон' за концентрацій 40 і 90 мкг/л мали такі показники: 68 і 26 та 65 і 27 % відповідно (табл. 5).

Таблиця 5

**Культивування матеріалу з мікотоксинами та життєздатність вівса на 14 добу
за концентрацій до 100 мкг/л, %**

Вихідний матеріал	Концентрація, мкг/л					
	40	50	60	70	80	90
Контроль	98					
Сорт						
'Скарб України'	68	63	56	45	34	26
'Авголь'	77	65	60	55	50	45
'Декамерон'	65	60	52	41	34	27
'Дієтичний'	75	62	58	54	46	38
'Дарунок'	71	65	50	46	40	36
Лінія						
№ 493-27	55	50	45	38	34	26
№ 399-38	50	44	36	30	25	17
№ 477-5	57	40	34	30	27	21
№ 425-19	55	45	40	30	29	23
Дика форма						
№ 12	85	70	68	61	55	51
НІР _{0,05}	1,0	0,6	0,8	1,0	1,2	1,0

У наших дослідженнях, окрім впливу концентрацій на життєздатність вихідного матеріалу вівса, визначали й біометричні показники.

На 14 добу висота рослин у контрольному варіанті становила 15 см, а кількість бічних пагонів – 10–12 шт. Як і в попередніх дослідженнях, виявлено перевагу диких форм над сортами й лініями. Як видно із даних таблиці 6, висота у диких форм варіювала від 10 до 13 см і значно не змінювалась за різних концентрацій. Зокрема, за найменшої концентрації 40 мкг/л цей показник становив 13 см, 50 і 60 мкг/л – 12 см, а в усіх інших варіантах – 10 см.

У сортів висота варіювала від 8 до 11 см. Найвищі показники отримано за концентрацій 40 і 50 мкг/л – 11 см, 60 мкг/л – 10 см, а за усіма іншими – 8 см. Найменшу висоту виміряно у лінійного матеріалу вівса від 6 до 9 см.

Кількість пагонів у диких форм варіювала від 6 до 8 шт., у ліній – від 7 до 10 шт., а у сортів – від 8 до 10 шт. (табл. 6).

Таблиця 6

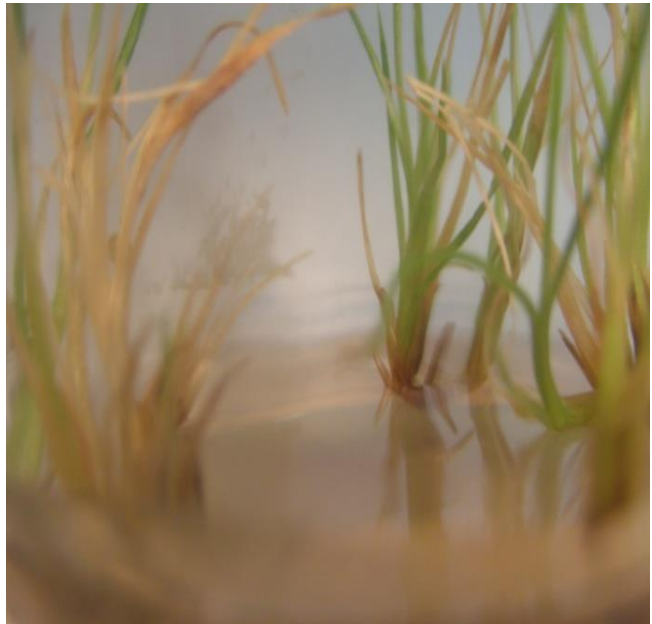
**Вплив мікотоксинів на біометричні показники вівса
залежно від концентрацій на 14 добу**

Вихідний матеріал	Концентрація, мкг/л					
	40	50	60	70	80	90
Висота росин, см						
Контроль	15					
Сорт	11	11	10	8	8	8
Лінія	9	9	7	6	6	6
Дика форма	13	12	12	10	10	10
НІР _{0,05}	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2
Кількість бічних пагонів, шт.						
Контроль	10–12					
Сорт	10	10	9	8	8	8
Лінія	10	8	8	8	7	7
Дика форма	8	8	8	7	6	6
НІР _{0,05}	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1

Загальний вигляд та вплив концентрацій на пагони вівса представлено на рисунку.



а) концентрація 100 мкг/л



б) концентрація 50 мкг/л

Рис. Культуральні рослини вівса на живильному середовищі з мікотоксинами на 7 добу культивування

Таким чином, розроблено живильне середовище і дібрана оптимальна концентрація мікотоксинів, що дозволила виділити толерантно стійкі форми вівса.

Висновки

Встановлено, що концентрації фузарієвої кислоти понад 100 мкг/л істотно впливали на життєздатність вихідного матеріалу вівса.

Більшість матеріалу за концентрації від 200 до 600 мкг/л на сьому добу культивування із мікотоксинами було пригніченим, а за концентрації 400 мкг/л і більше – повністю загинуло.

За концентрацій від 50 до 100 мкг/л культивувати пагони до 14 доби недоцільно, достатньо 7 або 10 діб, що дозволить отримати вищий вихід життєздатних пагонів вівса.

Концентрації і тривалість культивування істотно впливали на біометричні показники вівса.

Рекомендовано додавати у живильне середовище фузарієву кислоту з концентрацією від 50 до 100 мкг/л, що дозволить отримати толерантні форми у дикої форми до 51 %, у сортів – 38 %, у ліній – до 17 %.

Використана література

1. Diaz D. E., Smith T. K. Mycotoxin sequestering agents: practical tools for the neutralisation of mycotoxins. *The Mycotoxin Blue Book* / D. E. Diaz (Ed.). Nottingham : Nottingham University Press, 2005. Vol. 1. P. 323–339.
2. Брезвин О., Отчич В., Коцюмбас І. Контроль мікотоксинів у кормах і їх знешкодження. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2013. Вип. 62. С. 242–249.
3. Січняк О. Л., Міресь С. Л., Довганюк К. О. Цитогенетичні ефекти *Fusarium graminearum* Schwabe на злакові культури. *Вісник Одеського національного університету. Біологія*. 2019. Т. 24, № 1. С. 65–74.
4. Дубініна А. А., Ленерт С. О., Летута Т. М. та ін. Мікотоксини в рослинній сировині. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2019. Вип. 1. С. 215–228. doi: 10.5281/zenodo.3263751
5. Бавол А. В., Дубровна О. В., Лялько І. І. Селекція *in vitro* м'якої пшениці на стійкість до *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Фізіологія та біохімія культурних рослин*. 2009. Т. 41, № 4. С. 314–320.
6. Wang X., Wu Q., Wan D. et al. Fumonisin: oxidative stress-mediated toxicity and metabolism *in vivo* and *in vitro*. *Archives of Toxicology*. 2016. Vol. 90, Iss. 1. P. 81–101. doi: 10.1007/s00204-015-1604-8
7. Бавол А. В., Дубровна О. В., Лялько І. І. Добір та цитологічний аналіз стійких до культурального фільтрату *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* клітинних ліній пшениці та регенерантів з них. *Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів*. 2008. Т. 6, № 2. С. 191–200.

8. Wang M., Ling N., Dong X. et al. Effect of fusaric acid on the leaf physiology of cucumber seedlings. *European Journal of Plant Pathology*. 2014. Vol. 138, Iss. 1. P. 103–112. doi: 10.1007/s10658-013-0306-4
9. Chawla H. S., Wenzel G. *In vitro* selection for fusaric acid resistant barley plants. *Plant Breeding*. 1987. Vol. 99, Iss. 2. P. 159–163. doi: 10.1111/j.1439-0523.1987.tb01166.x
10. Корня Т. М., Ігнатова С. О. Вивчення селективних властивостей фільтрату культуральної рідини *Fusarium graminearum* Schwabe в культурі пиляків м'якої пшениці. *Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва. Серія : Біологія*. 2008. № 3. С. 99–106.
11. Івченко Т. В., Мозговська Г. В. Приготування фільтратів культуральної рідини гриба *Fusarium solani* Sacc. для використання в клітинній селекції баклажана на стійкість проти фузаріозного в'янення. *Селекція і насінництво*. 2013. Вип. 103. С. 135–142. doi: 10.30835/2413-7510.2013.54078
12. Niehaus E. M., Diaz-Sanchez V., von Barga K. W. et al. Fusarins and fusaric acid in fusaria. *Biosynthesis and molecular genetics of fungal secondary metabolites* / J. F. Martín, C. García-Estrada, S. Zeilinger (Eds.). New York, NY : Springer, 2014. P. 239–262. doi: 10.1007/978-1-4939-1191-2_11
13. Захарчук Н. А. Ефективність селекції картоплі *in vitro* на стійкість до *Fusarium oxysporum* та *Fusarium sambucinum*. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Агронія і біологія*. 2013. № 11. С. 188–191.
14. Міщенко С. В., Ткаченко С. М., Кривошеєва Л. М. Використання культури ізольованих клітин і тканин льону *in vitro*: напрями, досягнення, перспективи. *Наукові читання до 85-річчя від дня народження В. Г. Вуровця* : матеріали науково-практичної конференції (Глухів, 5 березня 2022 р.). Глухів, 2022. С. 118–123.
15. Kuźniak E. Effects of fusaric acid on reactive oxygen species and antioxidants in tomato cell cultures. *Journal of Phytopathology*. 2001. Vol. 149, Iss. 10. P. 575–582. doi: 10.1046/j.1439-0434.2001.00682.x
16. Toyoda H., Matsuda Y., Shimizu K. et al. *In vitro* selection of fusaric acid-resistant regenerants from tomato leaf explant-derived callus tissues. *Plant Tissue Culture Letters*. 1988. Vol. 5, Iss. 2. P. 66–71. doi: 10.5511/plantbiotechnology1984.5.66
17. Arumugam T., Ghazi T., Abdul N. S., Chuturgoon A. A. A review on the oxidative effects of the fusariotoxins: Fumonisin B1 and fusaric acid. *Toxicology: Oxidative Stress and Dietary Antioxidants* / V. B. Patel, V. R. Preedy (Eds.). Academic Press, 2021. P. 181–190. doi: 10.1016/B978-0-12-819092-0.00019-4
18. Pavlovkin J., Mistrik I., Prokop M. Some aspects of the phytotoxic action of fusaric acid on primary *Ricinus* roots. *Plant Soil and Environment*. 2004. Vol. 50, Iss. 9. P. 397–401. doi: 10.17221/4050-PSE
19. O'Donnell K., Sutton D. A., Fothergill A. et al. Molecular phylogenetic diversity, multilocus haplotype nomenclature, and *in vitro* antifungal resistance within the *Fusarium solani* species complex. *Journal of Clinical Microbiology*. 2008. Vol. 47, Iss. 8. P. 2477–2490. doi: 10.1128/jcm.02371-07
20. Мельничук М. Д., Кляченко О. Л., Коломієць Ю. В., Антіпов І. А. Біотехнологія. Практикум. Київ : Аграр Медіа Груп, 2013. 150 с.
21. Івченко Т. В., Корнієнко С. І., Кондратенко С. І. та ін. Клітинні технології створення вихідного селекційного матеріалу основних овочевих рослин в культурі *in vitro* (методичні рекомендації). Харків : Плеяда, 2013. 47 с.
22. Мірошніченко В. П., Сергієнко О. Ф., Івченко Т. В. та ін. Методика досліджень в культурі ізольованих тканин овочевих рослин. Мерефа : ІОБ УААН, 2004. 25 с.
23. Патогенні гриби: методичні вказівки з дисципліни «Мікробіологія, вірусологія та імунологія з мікробіологічною діагностикою» для студентів бакалаврів II–IV курсу за спеціальністю «Лабораторна діагностика» / упоряд. : В. В. Мінухін, Т. М. Замазій, Н. І. Коваленко. Харків : ХНМУ, 2016. 76 с.
24. Kimura M., Tokai T., Takahashi-Ando N. et al. Molecular and genetic studies of *Fusarium trichothecenes* biosynthesis: pathways, genes, and evolution. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2007. Vol. 71. P. 2105–2123. doi: 10.1271/bbb.70183
25. Ушкаренко В. О., Нікішенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Дисперсійний і кореляційний аналіз результатів польових дослідів. Херсон : Айлант, 2008. 372 с.

References

1. Diaz, D. E., & Smith, T. K. (2005). Mycotoxin sequestering agents: practical tools for the neutralisation of mycotoxins. In D. E. Diaz (Ed.), *The Mycotoxin Blue Book* (Vol. 1, pp. 323–339). Nottingham: Nottingham University Press.
2. Brezvin, O., Otchich, V., & Kotsiumbas, I. (2013). Control of mycotoxins in feed and their neutralization. *Bulletin of Lviv University. Biological Series*, 62, 242–249. [In Ukrainian]
3. Sichniak, O. L., Miros, S. L., & Dovhaniuk, K. O. (2019). Cytogenetic effects of *Fusarium graminearum* Schwabe on cereal crops. *Bulletin of Odessa National University. Biology*, 24(1), 65–74. [In Ukrainian]

4. Dubinina, A. A., Lenert, S. O., Letuta, T. M., Nepochatyh, T. A., & Shcherbakova, I. S. (2019). Mycotoxins in vegetable raw materials. *Progressive equipment and technologies of food production, restaurant industry and trade*, 1, 215–228. doi: 10.5281/zenodo.3263751
5. Baval, A. V., Dubrovna, O. V., & Lialko, I. I. (2009). *In vitro* selection of common wheat for resistance to *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 41(4), 314–320. [In Ukrainian]
6. Wang, X., Wu, Q., Wan, D., Liu, Q., Chen, D., Liu, Z., ... Yuan, Z. (2015). Fumonisin: oxidative stress-mediated toxicity and metabolism *in vivo* and *in vitro*. *Archives of Toxicology*, 90(1), 81–101. doi: 10.1007/s00204-015-1604-8
7. Baval, A. V., Dubrovna, O. V., & Lialko, I. I. (2008). Selection and citological analysis of culture filtrate *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* resistant cellular lines of wheat and regenerants from them. *The Bulletin of Ukrainian Society of Geneticists and Breeders*, 6(2), 191–200. [In Ukrainian]
8. Wang, M., Ling, N., Dong, X., Liu, X., Shen, Q., & Guo, S. (2014). Effect of fusaric acid on the leaf physiology of cucumber seedlings. *European Journal of Plant Pathology*, 138(1), 103–112. doi: 10.1007/s10658-013-0306-4
9. Chawla, H. S., & Wenzel, G. (1987). *In vitro* selection for fusaric acid resistant barley plants. *Plant Breeding*, 99(2), 159–163. doi: 10.1111/j.1439-0523.1987.tb01166.x
10. Kornia, T. M., & Ignatova, S. O. (2008). Researches of selective properties of cultured liquid of *Fusarium graminearum* schwabe of common wheat. *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology*, 3, 99–106. [In Ukrainian]
11. Ivchenko, T. V., & Mozgovska, G. V. (2013). Preparation of filtrates of culture liquid of the fungus *Fusarium solani* Sacc. for use in cell breeding of eggplant for resistance to Fusarium wilt. *Plant Breeding and Seed Production*, 103, 135–142. doi: 10.30835/2413-7510.2013.54078
12. Niehaus, E.-M., Díaz-Sánchez, V., von Bargen, K. W., Kleigrewe, K., Humpf, H.-U., Limón, M. C., & Tudzynski, B. (2014). Fusarins and fusaric acid in fusaria. In J. F. Martín, C. García-Estrada, & S. Zeilinger (Eds.), *Biosynthesis and molecular genetics of fungal secondary metabolites* (pp. 239–262). New York, NY: Springer. doi: 10.1007/978-1-4939-1191-2_11
13. Zakharchuk, N. A. (2013). Effectiveness of *in vitro* selection of potatoes for resistance to *Fusarium oxysporum* and *Fusarium sambucinum*. *Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy and Biology*, 11, 188–191. [In Ukrainian]
14. Mishchenko, S. V., Tkachenko, S. M., & Kryvosheeva, L. M. (2002). Use of culture of isolated flax cells and tissues *in vitro*: directions, achievements, prospects. In *Scientific readings for the 85th anniversary of the birth of V. G. Virovets: materials of the scientific and practical conference* (pp. 118–123). Glukhiv: N.p. [In Ukrainian]
15. Kuźniak, E. (2001). Effects of fusaric acid on reactive oxygen species and antioxidants in tomato cell cultures. *Journal of Phytopathology*, 149(10), 575–582. doi: 10.1046/j.1439-0434.2001.00682.x
16. Toyoda, H., Matsuda, Y., Shimizu, K., Ogata, H., Hashimoto, H., & Ouchi, S. (1988). *In vitro* selection of fusaric acid-resistant regenerants from tomato leaf explant-derived callus tissues. *Plant Tissue Culture Letters*, 5(2), 66–71. doi: 10.5511/plantbiotechnology1984.5.66
17. Arumugam, T., Ghazi, T., Abdul, N. S., & Chaturgoon, A. A. (2021). A review on the oxidative effects of the fusariotoxins: Fumonisin B1 and fusaric acid. In V. B. Patel, & V. R. Preedy (Eds.), *Toxicology: Oxidative Stress and Dietary Antioxidants* (pp. 181–190). Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-819092-0.00019-4
18. Pavlovkin, J., Mistrík, I., & Prokop, M. (2004). Some aspects of the phytotoxic action of fusaric acid on primary *Ricinus* roots. *Plant Soil and Environment*, 50(9), 397–401. doi: 10.17221/4050-PSE
19. O'Donnell, K., Sutton, D. A., Fothergill, A., McCarthy, D., Rinaldi, M. G., Brandt, M. E., Zhang, N., & Geiser, D. M. (2008). Molecular phylogenetic diversity, multilocus haplotype nomenclature, and *in vitro* antifungal resistance within the *Fusarium solani* species complex. *Journal of Clinical Microbiology*, 47(8), 2477–2490. doi: 10.1128/jcm.02371-07
20. Melnychuk, M. D., Kliachenko, O. L., Kolomiets, Yu. V., & Antipov, I. A. (2013). *Biotechnology. Practicum*. Kyiv: Agrar Media Group. [In Ukrainian]
21. Ivchenko, T. V., Kornienko, S. I., & Kondratenko, S. I. (2013). *Cellular technologies for creating the initial selection material of the main vegetable plants in *in vitro* culture (methodical recommendations)*. Kharkiv: Pleiada. [In Ukrainian]
22. Miroshnychenko, V. P., Serhiienko, O. F., & Ivchenko, T. V. (2004). *Methods of research in the culture of isolated tissues of vegetable plants*. Merefa: IOB UAAS. [In Ukrainian]
23. Minukhin, V. V., Zamazii, T. M., & Kovalenko, N. I. (Eds.). (2016). *Pathogenic fungi: methodological guidelines for the discipline "Microbiology, virology and immunology with microbiological diagnostics" for undergraduate students of the II-IV course in the specialty "Laboratory diagnostics"*. Kharkiv: KhNMU. [In Ukrainian]
24. Kimura, M., Tokai, T., Takahashi-Ando N., Ohsato, S., & Fujimura, M. (2007). Molecular and genetic studies of *Fusarium trichothecenes* bio-synthesis: pathways, genes, and evolution. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 71, 2105–2123. doi: 10.1271/bbb.70183
25. Ushkarenko, V. O., Nikishenko, V. L., Holoborodko, S. P., & Kokovikhin, S. V. (2008). *Dispersion and correlation analysis of the results of field experiments*. Kherson: Ailant. [In Ukrainian]

UDC 632.92

Voitovska, V. I.¹, Mykolaiko, I. I.², Nediak, T. M., & Potapovych, O. A. (2023). Obtaining oat genotypes tolerant to mycotoxins *in vitro*. *Advanced Agritechnologies*, 11(3). <https://doi.org/10.47414/na.11.3.2023.288682> [In Ukrainian]

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, e-mail: vvojtovska6@gmail.com*

²*Pavlo Tychna Uman State Pedagogical University, 2 Sadova St., Uman, Cherkasy region, 20300, Ukraine*

Purpose. To establish the concentration of toxins, the duration of their cultivation and to obtain tolerant to mycotoxins oat genotypes *in vitro*. **Methods.** Wild genotype No. 12, varieties 'Dekameron', 'Darunok', 'Dietychnyi', 'Skarb Ukrainy', and 'Avgol', as well as lines No. 493-27, 477-5, 399-38 and 425-19 were used as materials. From the oat collection, breeding material was selected and propagated. The shoots were planted in nutrient medium supplemented with different concentrations (from 10 to 600 µg/l) of fusarium acid. A modified nutrient medium according to B5 prescription and modifications [GB + BAP (0.8 mg/l) + kinetin (1.0 mg/l) + sucrose (30.0 g/l)] served as the control variant. As a control option, the same medium was chosen, on which the shoots of the variety 'Synelnykivskiy 1321' (standard) were planted. The number of shoots in one variant was 25, with three replications. Oat shoots were cultivated with mycotoxins for up to 14 days. Tolerant plants were selected and transplanted to a hormone-free medium with a half content of mineral salts (1/2), and then to a medium for rhizogenesis. **Results.** It was found that concentrations of fusarium acid above 100 µg/l had a significant effect on the viability of the oat breeding material. Most of the material at concentrations from 200 to 600 µg/l on the seventh day of cultivation with mycotoxins was inhibited, and at concentrations of 400 µg/l and higher, it completely died. At concentrations from 50 to 100 µg/l, it is impractical to cultivate shoots for up to 14 days, while 7 or 10 days will be enough in order to obtain a higher yield of viable oat shoots. Concentrations and duration of cultivation had a significant effect on the biometric indicators of oat. **Conclusions.** It is recommended to add fusarium acid to the nutrient medium at a concentrations from 50 to 100 µg/l, which will make it possible to obtain tolerant forms of oats: up to 51% in wild forms, up to 38% in varieties, and up to 17% in breeding lines.

Keywords: *fusarium acid; concentration; breeding material; viability; biometric indicators.*

Надійшла / Received 04.10.2023
Погоджено до друку / Accepted 19.10.2023