

19. Head K. Peripheral neuropathy: pathogenic mechanisms and alternative therapies. *Altern Med Rev.* 2006; 11: 294-329.
20. Islam M., Choi H. Nongenetic Model of Type 2 Diabetes: A Comparative Study. *Pharmacology.* 2007; 79 (4): 243-49.
21. Jayabalan B., Low L. Vitamin B supplementation for diabetic peripheral neuropathy. *Singapore Med J.* 2016; 57: 55-9.
22. Jolivald C., Mizisin L., Nelson A., Cunha J., Ramos K., Bonke D., Calcutt N. B vitamins alleviate indices of neuropathic pain in diabetic rats. *Eur J Pharmacol.* 2009; 612: 41-47.
23. Martyn C., Hughes R. Epidemiology of peripheral neuropathy. *Neurolog Neurosurg Psychiatry.* 1997; Vol. 62(40): 310-18.9
24. Randall L., Sellito J. A method for measurement of analgesic activity on inflamed tissue. *Archives Internationales de Pharmacodynamie et de therapie.* 1957; 111: 409-19.

25. Sun Y., Lai M., Lu C. Effectiveness of vitamin B12 on diabetic neuropathy: systematic review of clinical controlled trial. *Acta Neurol. Taiwan.* 2005; 14(2):48-54.
26. Thornalley P. The potential role of thiamine (vitamin B(1)) in diabetic complications. *Curr. Diabetes Rev.* 2005; 1: 287-98.
27. Ting R., Szeto C., Chan M., Ma K., Chow K. Risk factors of vitamin B(12) deficiency in patients receiving metformin. *Arch Intern Med.* 2006; 166: 1975-79.
28. Woo Y., Lee C., Fong C., Tso A., Cheung B., Lam K. Validation of the diabetes screening tools proposed by the American Diabetes Association in an aging Chinese population. *PLoS One.* 2017; 12: 9.

Надійшла до редколегії 23.10.17

Н. Никитина, асп., С. Береговой, канд. биол. наук, Л. Степанова, канд. биол. наук, О. Кабанов, вед. инженер
УНЦ "Институт биологии и медицины", Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ВВЕДЕНИЯ КОКАРНИТА КРЫСАМ С ДИАБЕТИЧЕСКОЙ ПОЛИНЕЙРОПАТИЕЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕНЗОАЛГОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА

Исследовано изменение болевого порога у крыс с диабетической полинейропатией и эффективность Коккарнита в лечении данного осложнения диабета, определена оптимальная схема введения препарата. Установлено, что ежедневное введение препарата на протяжении 9 и 12 дней оказывает положительное влияние на нервную проводимость и возвращает к норме реакцию на болевой стимул.

Ключевые слова: порог болевой чувствительности, диабетическая полинейропатия, Коккарнит.

N. Nikitina, PhD stud., S. Beregovyi, PhD, Stepanova L., PhD, O. Kabanov, sen. Engineer
ESC "Institute of Biology and Medicine", Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

DEFINITION OF OPTIMUM SCHEME OF COCARNIT INJECTION FOR RATS WITH POLYNEUROPATHY INDUCED BY DIABETIC BY TENZOALOGOMETRIC METHOD

The change of pain threshold in rats with diabetic polyneuropathy and the efficacy of Cocarnit in the treatment of this complication has been studied, and the optimal scheme of drug administration has been determined. It is established that daily administration of the drug for 9 and 12 days has a positive effect on the nerve conduction and returns to normal response to the pain stimulus.

Key words: threshold of pain sensitivity, diabetic polyneuropathy, Cocarnit.

УДК 581.143.01.07

М. Мусієнко, д-р біол. наук, проф, акад. НААН України,
Н. Таран, д-р біол. наук, проф., В. Стороженко, канд. біол. наук,
Л. Бацманова, канд. біол. наук, Н. Грудіна, інж. 1 категорії, Н. Светлова, канд. біол. наук, О. Серга, канд. біол. наук
ННЦ "Институт биологии та медицины" Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ФЕНОТИПУВАННЯ ЗА БІОХІМІЧНИМИ МАРКЕРАМИ ФІЗІОЛОГІЧНОЇ ВІДПОВІДІ РОСЛИН ДЛЯ СКРИНІНГУ СОРТІВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

Проведено польовий скринінг та фенотипування за біохімічними параметрами сортів озимої пшениці степового еко типу за екзогенної обробки рослин пероксидом водню. Кількість ТБК-активних продуктів, фотосинтетичних пігментів і сульфохіновозилдіацилгліцеролу суттєво відрізнялася в листках досліджуваних сортів за нормальних умов. Після першої позакореневої обробки рослин пероксидом водню спостерігали підвищення вмісту ТБК-активних продуктів і гідропероксидів, а після другої – їх суттєве зниження в листках сорту Шестопалівка. Екзогенна обробка пероксидом водню позитивно впливала на формування продуктивного стеблествою та морфометричні параметри дослідних рослин.

Ключові слова: озима пшениця, пероксид водню, ТБК-активні продукти, гідропероксиди, адаптація.

Вступ. В умовах трансформованого середовища гостро постає проблема пошуку оптимальних шляхів розкриття адаптивного потенціалу культурних рослин в агросистемах і малозатратних способів покращення агропромисловості в цілому. Кліматичні умови в масштабах геологічного часу змінюються швидше, ніж можуть виникати філогенетичні адаптації, і у зв'язку з цим в багатьох випадках адаптаційні можливості рослин не досягають біологічного оптимуму [1,2]. Практичне втілення способів інтенсифікації адаптивних стратегій залежить як від вдосконалення методів кількісного аналізу фізіологічного стану рослин, так і від ефективності оперування їх інтегральними показниками для оцінки взаємодії генотип-середовище.

Методи аналізу фенотипу дозволяють вивчати процеси онтогенезу рослин з огляду на формування адаптаційних реакцій у відповідь на вплив різноманітних факторів довкілля і визначати характеристики конкретних видів та сортів рослин за певних умов. Об'єктивне визначення фенотипу може здійснюватись на

основі фенотипування рослин (Plant phenotyping), або фенотайпінгу [2, 3, 4].

Фенотайпінг – методологія нового напрямку рослинної феноміки, яка оригінально доповнює класичну фізіологію рослин, дозволяє поєднати різноманітні фізіологічно-біохімічні процеси для розуміння молекулярно-генетичних основ багатofункціонального процесу загального адаптаційного синдрому рослин [3].

Ця методологія являє собою багаторівневе дослідження комплексу рослинних ознак, які пов'язані з процесами росту і розвитку рослин, морфогенезу, фізіологічними реакціями толерантності та резистентності, екологічною пластичністю та, в кінцевому рахунку, біологічною продуктивністю. Вона передбачає як вимірювання окремих кількісних показників, які формують більш складні комплексні ознаки, так і з'ясування фізіологічних реакцій організму, які сприяють формуванню адаптації до майбутнього погіршення умов місцезростання, тобто індукують передадаптаційні процеси [3]. Останні дають можливість рослинам "немов би, підготуватися" до дії

несприятливих факторів у майбутньому, і, в кінцевому рахунку знизити ступінь ушкодження рослин [5].

За нашим припущенням, в якості такого індуктора переадаптивного стану у рослин може виступати пероксид водню. Питання специфічної ролі пероксиду водню в реалізації довготривалих клітинних реакцій у рослинних і тваринних організмів постійно обговорюється в науковій літературі [6,7]. Водночас, окремий внесок у формування цього припущення зробили і результати наших попередніх робіт, які підтверджували участь пероксиду водню у формуванні неспецифічної резистентності рослин озимої пшениці [8].

Згідно з наявними даними літератури, скринінг адаптивного потенціалу сортів пшениці за умов регуляторної дії пероксиду водню є недостатньо висвітленим, водночас залишається відкритим питання можливості застосування методів фенотайпінгу у його здійсненні.

Тому метою нашої роботи було проведення фенотипування за біохімічними параметрами та скринінг рослин сортів пшениці степового еко типу в умовах польового дослідження за екзогенної обробки рослин пероксидом водню.

Матеріали та методи досліджень. В роботі використовували сорти пшениці озимої степового еко типу: Авангард, Шестопапівка, Тітона, Одеська 267, Тронка, Скала, які були створені Приватним сільськогосподарським дослідно-селекційним підприємством "Бор". Всі сорти були висіяні на дослідних ділянках ННЦ "Інститут землеробства" НААН України (сміт Чабани), характеризувались високою посухо- та жаростійкістю та мали комплексну стійкість до хвороб. Агротехніка вирощування загальноприйнята. Для досліджень використовували верхній гарно розвинутий листок рослин головного стебла злаків, оскільки, саме на нього припадає більша частина фотосинтетично активної радіації та, на останніх етапах органогенезу 80% фотоасимілятів надходить до колосу саме з листка верхнього ярусу (прапорцевого листка) [9,10].

Для проведення фенотайпінгу використовували наступні показники: вміст фотосинтетичних пігментів (хлорофілів та каротиноїдів), ТБК-активних продуктів, сульфохінової діацилгліцеролу. Визначення вмісту фотосинтетичних пігментів здійснювали у диметилсульфоксиді за загальноприйнятою методикою [11].

Інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) оцінювали за кількістю ТБК-активних продуктів на основі реакції з 2-тіобарбітуровою кислотою [12].

Вміст гідропероксидів ліпідів визначали за кольоровою реакцією з сульфосаліциловою кислотою [13]. Кількісне визначення сульфоліпідів проводили за Кіном [14]. Активність супероксиддисмутази визначали за Гіанополітсом та Райзом [15].

З метою вивчення біохімічних основ мобілізації пероксидом водню природних захисних механізмів, надземну частину рослин обприскували розчином пероксиду водню в концентрації 1мМ у фазі трубкування. За 72 години проводили другу обробку рослин. Біохімічні дослідження рослин проводили через 24 години після їх двократної обробки.

Статистичну обробку результатів досліджень проводили за допомогою програм "Microsoft Excel" і "STATISTICA" за Доспеховим [16].

Результати та обговорення. Результати польового скринінгу продемонстрували, що досліджувані сорти рослин характеризуються суттєвими відмінностями в розвитку процесів ПОЛ. Порівнюючи сумарний вміст ТБК-активних продуктів, слід зазначити, що його рівень у листках був високим за значенням у сортів Тронка, Шестопапівка та Скала та низьким у сортів Авангард, Одеська 267 і Тітона (табл. 2). Кількість ТБК-активних продуктів змінювалась від 2,27 до 4,98 мкМ/г сухої речовини, що свідчить про різну чутливість фотосинтетичного апарату рослин окремих сортів до впливу факторів навколишнього середовища.

Фітофізіологи розглядають сульфохінової діацилгліцерол (СХДГ) в якості специфічного структурно-функціонального маркера адаптаційних реакцій рослин. Доведено, що серед ліпідних компонентів, які захищають пігментний комплекс від температурної інактивації, СХДГ є найбільш ефективним [17]. Проведені нами дослідження виявили сортові відмінності за вмістом СХДГ. Серед досліджуваних сортів найбільшу його кількість в листках накопичували рослини сортів Шестопапівка, Тітона і Тронка (табл. 2).

Загальновідомим є факт того, що адаптаційні можливості рослин значною мірою залежать від функціонування їх фотосинтетичного апарату [18]. Типовим показником стану фотосинтетичного апарату рослин є вміст хлорофілів та каротиноїдів як головних фотосенсibiliзаторів. Серед обраних для дослідження сортів за вмістом хлорофілів та каротиноїдів у фотосинтезуючих тканинах листків в (мг/г сух. реч.) вирізняються сорти Тітона, Тронка, і Скала (табл. 1).

Таблиця 1. Вміст ТБК-активних продуктів, сульфохінової діацилгліцеролу, фотосинтетичних пігментів і сухої речовини у сортів степового еко типу

Сорт	ТБК-активні продукти	сульфохінової діацил гліцерол	маса сухої речовини в 1 г сирової речовини	сума хлорофілів	Сума каротиноїдів
	мкМ/г сухої речовини			мг/г сухої речовини	
Авангард	3,69 ± 0,10	35,3 ± 0,4	0,227±0,02	11,0 ± 0,1	2,5 ± 0,0
Шестопапівка	4,25 ± 0,17	41,1 ± 0,7	0,188±0,02	9,2 ± 0,2	1,9± 0,1
Тітона	2,27 ± 0,10	36,4 ± 0,9	0,188±0,01	12,7 ± 0,1	3,3 ± 0,0
Одеська 267	2,89 ± 0,21	29,0 ± 0,9	0,209±0,01	10,1 ± 0,1	2,7 ± 0,0
Тронка	4,98 ± 0,19	35,5 ± 0,1	0,215±0,01	11,8 ± 0,2	3,3 ± 0,2
Скала	3,86 ± 0,10	16,7 ± 0,1	0,203±0,02	11,7 ± 0,4	3,0 ± 0,1

Порівняльний аналіз генотипів за зерною продуктивністю продемонстрував, що найбільшу врожайність

мали сорти Тітона, Тронка та Скала, що узгоджується з даними, обраними для фенотайпінгу (рис. 1).

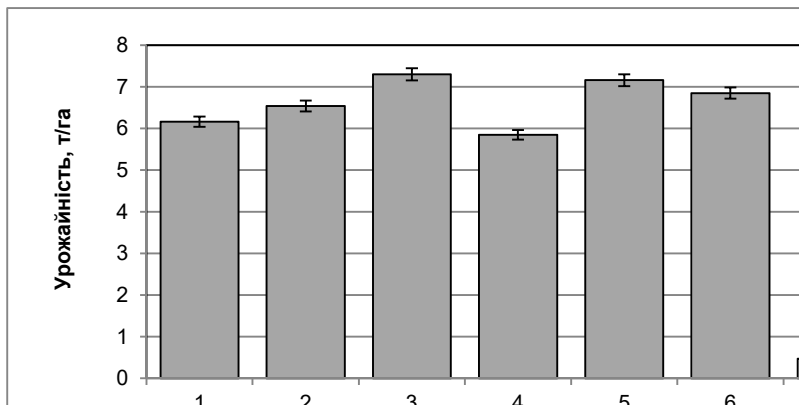


Рис. 1. Урожайність рослин озимої пшениці сортів Авангард (1), Шестопалівка (2), Тітона (3), Одеська 267 (4), Тронка (5) та Скала (6)

Водночас, згідно з результатами наших досліджень, дія H_2O_2 в концентрації 1 мМ призводила до розвитку окиснювального стресу у рослин пшениці сорту Шестопалівка, який характеризувався накопиченням продуктів ПОЛ. Так, загальний вміст гідропероксидів на 24 годину після першої обробки рослин пероксидом водню збільшився на 42 %, ТБК-активних продуктів на 14 %, тоді як

на 24 годину після другої обробки загальний вміст гідропероксидів та ТБК-активних продуктів знижувався відносно контролю на 20,9 та 24,7 % відповідно (рис. 2).

Отже, на нашу думку, екзогенна обробка рослин призвела до швидкої адаптації у рослин пшениці, оскільки згідно з концепцією Сельє для такого стану характерне зниження рівня оксидативного окиснення.

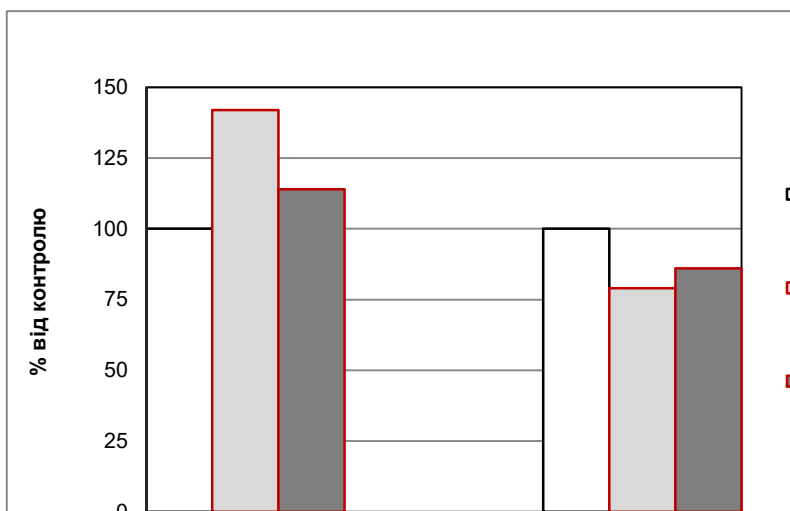


Рис. 2. Вміст гідропероксидів ліпідів, ТБК-активних продуктів у листках пшениці озимої сорту Шестопалівка за дії H_2O_2 (1×10^{-3} М)

Ефективність реалізації адаптаційних стратегій рослин проявляється у здатності до випередження наслідків появи несприятливих умов для їх існування. Водночас, виникнення адаптаційних змін пов'язують з переадаптацією – специфічними та неспецифічними реакціями організму, які сприяють формуванню адаптації до майбутнього погіршення умов місцезростання [2]. Ряд дослідників вважає, що рослини набувають переадаптивного стану за умови підвищення активності ферментативних та неферментативних захисних механізмів [5]. Беручи до уваги той факт, що пероксид водню як сигнальна молекула активує (або репресує) роботу генів значної кількості ферментів, сигнальних білків, а також білків, які регулюють окиснювальний гомеостаз клітини, тобто ті процеси, які в сукупності визначають адаптаційні перебудови, захист та розвиток клітин, нами було здійснено позакореневу обробку рослин пшениці 1мМ

H_2O_2 для з'ясування регуляторної функції пероксиду водню у переадаптаційних процесах.

Багатьма дослідженнями доведений тісний зв'язок між стійкістю рослин до екстремальних факторів середовища і підвищеним рівнем активності цитозольної супероксиддисмутази. За результатами наших досліджень за однократної обробки рослин H_2O_2 у фотосинтезуючих тканинах листків пшениці розвивались окиснювальні процеси, які, водночас, не зменшували активність СОД (рис. 3).

Досліджувані рослини за першої обробки відповідають на завдане стресове навантаження підвищеним рівнем активності цього ферменту (на 7,6 %), тоді як дворазова обробка викликала збільшення активності СОД щодо контрольних зразків на 46 %. Збільшення активності СОД на перших етапах розвитку стресової відповіді свідчить про активацію захисних систем рослини.

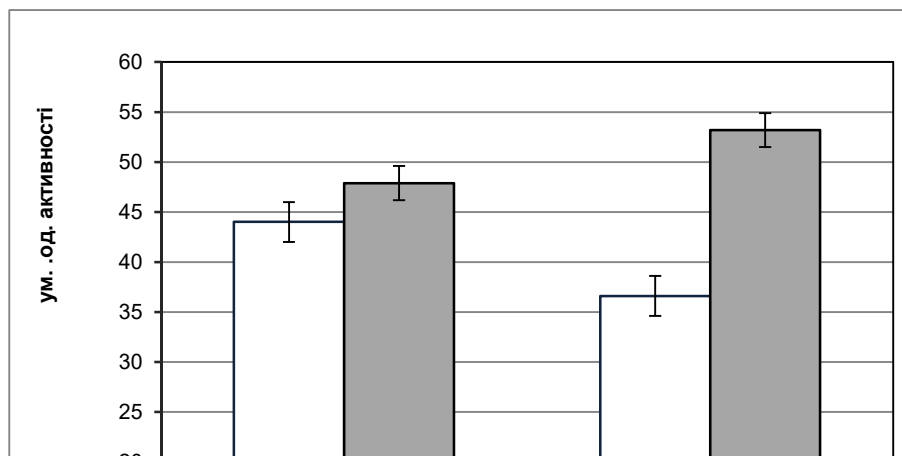


Рис. 3. Активність СОД у листках рослин пшениці озимої сорту Шестопалівка за дії H_2O_2 1×10^{-3} М

Останніми роками з'явилися наукові результати, які засвідчують високі антиоксидантні властивості поліфенолів та їхніх похідних, що виступають в якості донора електронів в пероксидазних реакціях [19].

Ряд закордонних дослідників висловлюють припущення, що модуляція внутрішньоклітинного рівня АФК з екзогенного H_2O_2 через активацію каталази може змі-

нювати синтез вторинних метаболітів [20, 21]. Як засвідчили результати наших досліджень окисдаційний стрес активізує фенілпропановий метаболізм у рослин пшениці. Так, вміст загальних фенолів збільшився з 3,77 до 4,78 мг/г сухої речовини в листках сорту Шестопалівка (табл. 2).

Таблиця 2. Загальний вміст речовин фенольної природи (мг/г сухої речовини) за дії H_2O_2 10^{-3} М у листках сорту Шестопалівка

Варіант		Різниця з контролем	
Контроль	Дослід	мг/г	%
3,77	4,78	1,01	27
НІР _{0,05}		0,67	7

Отже, ми встановили, що двократна обробка пероксидом водню в концентрації $1 \cdot 10^{-3}$ М активувала захисні механізми у рослин пшениці, що проявилось в зростанні активності СОД на 46 % та збільшенні синтезу речовин фенольної природи на 27 %.

Екзогенна обробка пероксидом водню впливала на формування продуктивного стеблестю та морфометричні параметри дослідних рослин (табл. 3). Відмічено превалююче формування продуктивних стебел при застосуванні у фазу виходу в трубку екзогенного H_2O_2 . Проведені дослідження показали, що екзогенний пероксид водню впливав на формування продуктивного стеблестю у дослідних рослин, загальну кількість сте-

бел та довжину соломини: загальна кількість стебел зростала на 16%, продуктивних на 25%, довжина соломини на 3-8% порівняно з контрольними рослинами.

Факт збільшення кількості стебел дозволяє припустити, що обробка екзогенним пероксидом водню у фазі трубкування спрямовує (переорієнтовує) апікальне домінування головного стебла на користь бічних.

Показано [22], що продукти ліпопероксидації виступають інгібіторами клітинного поділу та росту, а зниження рівня продуктів ліпопероксидації знімає інгібування клітинного поділу та росту тканин, що на нашу думку могло проявитись у збільшенні висоти дослідних рослин.

Таблиця 3. Морфометричні показники сортів озимої пшениці за умов екзогенної обробки рослин H_2O_2 у концентрації $1 \cdot 10^{-3}$ М

Сорт	Варіант	Кількість продуктивних стебел на м погонний	Висота рослин	Довжина Колоса
		шт.		
Авангард	К	85 ± 2,7	83,9 ± 1,3	8,0 ± 0,4
	Д	106 ± 2,3	85,0 ± 1,2	8,0 ± 0,3
Шестопалівка	К	125 ± 4,1	87,7 ± 1,2	8,2 ± 0,4
	Д	156 ± 3,7	93,7 ± 0,9	8,2 ± 0,3
Тітона	К	132 ± 2,2	80,8 ± 3,0	7,1 ± 0,1
	Д	163 ± 2,4	86,0 ± 3,1	7,5 ± 0,2
Одеська 267	К	128 ± 3,2	93,1 ± 1,5	7,4 ± 0,1
	Д	148 ± 4,6	95,1 ± 1,9	7,6 ± 0,3
Тронка	К	125 ± 2,9	85,5 ± 1,9	9,5 ± 0,3
	Д	148 ± 2,4	91,2 ± 2,5	9,0 ± 0,4
Скала	К	125 ± 4,1	87,7 ± 1,2	8,2 ± 0,4
	Д	140 ± 3,7	88,9 ± 0,9	8,2 ± 0,3

Отже, екзогенна обробка рослин пероксидом водню викликала позитивні морфологічні зміни нових сортів озимої пшениці степового еко типу.

Враховуючи результати нашої роботи, можна констатувати, що фенотипування рослин нових сортів озимої пшениці може сприяти покращенню селекційної роботи та вдосконаленню способів скринінгу висхідного

генетичного матеріалу для її подальшого проведення. Водночас, результати фенотипування підтверджують, що регуляторна дія екзогенного перексиду водню проявляється у покращенні біохімічних та морфологічних параметрів рослин.

Висновки. Фенотипування являє собою інтегральну оцінку фізіологічного стану рослин, яка дозволяє визначити межі адаптивної мінливості та ступінь стійкості генотипу. Проведене шляхом скринінгу фенотипування сортів озимої пшениці в умовах польового дослідження за регуляторної дії перексиду водню у концентрації 1×10^{-3} М дозволило нам вибрати селекційний матеріал сортів, біологічні властивості яких найкращим чином адаптовані до умов Лісостепу України. Отримані результати фенотипування узгоджуються з оцінкою біологічної продуктивності рослин та дозволили нам виділити найбільш адаптовані до кліматичних умов лісостепової зони сорти Тітона, Тронка, Шестопалівка.

Обробка рослин перексидом водню у концентрації 1×10^{-3} М сприяє зниженню окиснювальних процесів, активує захисні механізми у рослин пшениці, що проявилось в зростанні активності антиоксидантного ферменту СОД на 46 % та збільшенні синтезу речовин фенольної природи на 27 % та позитивно впливає на формування продуктивного стеблестоя та морфометричні параметри дослідних рослин.

Список використаних джерел:

1. Волкова Н. Є. Добір за допомогою маркерів та геномна селекція в рослинництві: теоретичні аспекти / Н. Є. Волкова // Матеріали міжнар. конф. "Теоретичні основи оптимізації селекційного процесу основних видів сільськогосподарських рослин" – Плейда, 2015. – С. 44–47.
2. Гродзинский Д. М. Адаптивная стратегия физиологических процессов растений / Д. М. Гродзинский. – К.: Наук. думка, 2013. – 301 с.
3. Kumar J. Phenomics in Crop Plants: Trend, options and limitations / J. Kumar, A. Pratap, S. Kumar. – New Delhi: Springer, 2015.
4. Walter A. Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis / A. Walter, F. Liebisch, A. Hund // Plant Methods 2015; 11:14. DOI 10.1186/s13007-015-0056-8.
5. Грудина Н.С., Бацманова Л.М., Стороженко В.О. Преадаптація як елемент еволюції та фактор формування неспецифічної стійкості рослин // Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Проблеми регуляції фізіологічних функцій – 2010. – № 13 – С. 35–37.
6. Spasojević I. Hydrogen Peroxide in Adaptation / I. Spasojević, D. R. Jones, M. E. Andrades // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. – 2012. DOI:10.1155/2012/596019.
7. Hydrogen Peroxide in Plants: a Versatile Molecule of the Reactive Oxygen Species Network / L.-J. Quan, B. Zhang, W.-W. Shi, H.-Y. Li // Journal of Integrative Plant Biology. – 2008. – 50, № 1. – P. 2–18.
8. Адаптивні реакції рослин озимої пшениці різних екотипів за дії перексиду водню / Л. М. Бацманова, В. О. Стороженко, Н. С. Грудина та ін. // Физиология и биохим. культ. раст. – 2010. – 42, № 2. – С. 163–168.
9. Прядкіна Г. О. Физиологічні основи підвищення продуктивності рослин озимої пшениці / Г. О. Прядкіна. – К.: Інтерсервіс, 2014. – 210 с.
10. Кудоярова Г. Р. Реакция устьиц на изменение температуры и влажности воздуха у растений разных сортов пшеницы, районированных в контрастных климатических условиях / Г. Р. Кудоярова // Физиология растений. – 2011. – 54, № 1. – С. 54–58.
11. Wellburn A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution / A. R. Wellburn // J. Plant Physiol. – 1994. – 144, № 3. – P. 307–313.
12. Hodges D.M., Delong J.M., Forney C.F. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay forestimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds // Planta. – 2009. – 207. – P. 604–611.
13. Физиология растений: практикум / О.В. Войцехівська, А.В. Капустян, О.І. Косик та ін.; за заг. ред. Т. В. Паршикової. – Луцьк: Терен, 2010. – 420 с.
14. Kean E. A. A rapid sensitive spectrophotometric method for quantitative determination of sulfatides / E. A. Kean // J. Lipid Resear. – 1968. – 9, № 3. – P. 319–329.
15. Giannopolitis C. N. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants / C. N. Giannopolitis, S. K. Ries // Plant Physiol. – 1977. – 59, № 2. – P. 309–314.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
17. Таран Н. Ю. Біохімія рослинних ліпідів: навч. посіб. / Н. Ю. Таран, О. А. Оканенко, В. О. Стороженко – К.: Авега. – 2013. – 261 с.
18. Связь между величиной хлорофильного фотосинтетического потенциала и урожайностью озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при повышенных температурах / Г. А. Прядкіна, О. О. Стасик,

Л. М. Михальская, В. В. Швартау // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – № 5. – С. 88–95.

19. Олениченко Н. А. Влияние экзогенных фенольных соединений на перекисное окисление липидов у растений пшеницы / Н. А. Олениченко, Е. С. Городкова, Н. В. Загоскина // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – 52, № 3. – С. 58–61.

20. Veljovic-Jovanovic S. Are leaf hydrogen peroxide concentrations commonly overestimated? The potential influence of artefactual interference by tissue phenolics and ascorbate / S. Veljovic-Jovanovic, G. Noctor, C. H. Foyer // Plant Physiol Biochem. – 2012, № 40. – P. 501–507.

21. Why are literature data for H₂O₂ contents so variable? A discussion of potential difficulties in the quantitative assay of leaf extract / G. Queval, J. Hager, B. Gakiere, G. Noctor // Journal of Experimental Botany. – 2012. – 59, № 2. – P. 135–146.

22. Феofilова Е. П. Значение реакций свободнорадикального окисления в регуляции роста и липидообразования эукариотных и прокариотных организмов / Е. П. Феofilова, Е. Б. Буракова, Л. С. Кузнецова // Прикл. биох. и микробиол. – 1987. – 20, № 1. – С. 3–7.

References:

1. Volkova N. Dobir za dopomogoyu markeriv ta genomna selektsiya v roslinnitsvi: teoretichni aspektu / N.E. Volkova // Materlalu mlzhnar. konf. "Teoretichni osnovu optimizatsiya selektsynogo protsesu osnovnyh vudiv silskogospodarskih roslin" – Pleyada, 2015. – S. 44-47.
2. Grodzinskiy D. Adaptivnaya strategiya fiziologicheskikh protsessov rasteniy – K.: Naukova dumka, 2013. – 301 s.
3. Kumar J., Pratap A., Kumar S. Phenomics in Crop Plants: Trend, options and limitations – New Delhi: Springer, 2015.
4. Walter A., Liebisch F., Hund A. Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis. Plant Methods 2015; 11:14 DOI 10.1186/s13007-015-0056-8.
5. Grudina N., Batsmanova L., Storozhenko V. Preadaptatsiya yak element evolyutsiy ta faktor formuvannya nespetsifichnoy stiykosti roslun // VIsnik Kuyivskogo natsionalnogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. Problemiu regulyatslii fiziologichnih funktsiy – 2010. – №13 – S. 35-37.
6. Spasojević I., Jones D., Andrades M. Hydrogen Peroxide in Adaptation. Oxidative Medicine and Cellular Longevity 2012. doi:10.1155/2012/596019.
7. Quan L.-J., Zhang B., Shi W.-W., Li H.-Y. Hydrogen Peroxide in Plants: a Versatile Molecule of the Reactive Oxygen Species Network // Journal of Integrative Plant Biology. – 2008. – 50, №1. – P. 2–18.
8. Batsmanova L., Storozhenko V., Grudina N., Taran N., Musienko M. Adaptivni reakcii roslun ozimoyi pshenitci riznih ekotiplv za dii peroksidu vodnyu // Fiziologiya i biokim. kult. rost. – 2010. – 42, # 2. – S. 163-168.
9. Pryadkina G. Fzlologichni osnovi pldvishchennya produktivnosti roslin ozimoyi pshenitsi – K.: Interservls, 2014. – 210 s.
10. Kudoyarova G. Reaktsiya ust'its na izmenenie temperatury i vlazhnosti vozduha u rasteniy raznykh sortov pshenitsyi, rayonirovannykh v kontrastnykh klimaticheskikh usloviyah / G.R. Kudoyarova // Fiziologiya rasteniy. – 2011. – 54, №1. – С. 54–58.
11. Wellburn A. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution / A.R. Wellburn // J. Plant Physiol. – 1994. – 144, № 3. – P. 307-313.
12. Hodges D., Delong J., Forney C. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay forestimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds // Planta. – 2009. – 207. – P. 604–611.
13. Fiziologiya roslun: praktikum / O.V. Voytsehlvska, A.V. Kapustyan, O.I. Kosik ta In. Za zag.red. T.V. ParshikovoYi – Lutsk: Teren, 2010. – 420 s.
14. Kean E. A rapid sensitive spectrophotometric method for quantitative determination of sulfatides / E. A. Kean // J. Lipid Resear. – 1968. – 9, № 3. – P. 319–329.
15. Giannopolitis C., Ries S. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants // Plant Physiol. – 1977. – 59, № 2. – P. 309–314.
16. Dosphehov B. Metodika polevogo opyta – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.
17. Taran N., Okanenکو O., Storozhenko V. Blohlmlya roslinnih lpldlv: navchalnyi poslbnik – K: Avega. – 2013. – 261 s.
18. Pryadkina G., Stasik O., Mihalskaya L., Shvartau V. Svyaz mezhdu velichinoy hlorofilnogo fotosinteticheskogo potentsiala i urozhaynostyu ozimoy pshenitsyi (Triticum aestivum L.) pri povyshennykh temperaturah // Selskohozyaystvennaya biologiya. – 2014. – # 5. – S. 88–95.
19. Olenichenko N. Vliyanie ekzogenykh fenolnykh soedineniy na perekisnoe okisleniye lipidov u rasteniy pshenitsyi / N.A. Olenichenko, E.S. Gorodkova, N. V. Zagoskina // Selskohozyaystvennaya biologiya. – 2011. – 52, # 3. – S. 58–61.
20. Veljovic-Jovanovic S., Noctor G., Foyer C. Are leaf hydrogen peroxide concentrations commonly overestimated? The potential influence of artefactual interference by tissue phenolics and ascorbate // Plant Physiol Biochem. – 2012, № 40. – P. 501–507.
21. Queval G. Why are literature data for H₂O₂ contents so variable? A discussion of potential difficulties in the quantitative assay of leaf extract / G. Queval, J. Hager, B. Gakiere, G. Noctor // Journal of Experimental Botany. – 2012. – 59, № 2. – P. 135–146.
22. Feofilova E., Burlakova E., Kuznetsova L. Znachenie reaktsiy svobodnoradikalnogo okisleniya v regulyatsii rosta i lipidobrazovaniya eukariotnykh i prokariotnykh organizmov // Prikl. biokh. i mikrobiol. – 1987. – 20, № 1. – S. 3–7.

Н. Мусиенко, д-р биол. наук, проф., акад. НААН України, Н. Таран, д-р биол. наук, проф., В. Стороженко, канд. биол. наук, Л. Бацманова, канд. биол. наук, Н. Грудина, инж. 1 категории, Н. Светлова, канд. биол. наук, Л. Серга, канд. биол. наук УНЦ "Институт биологии и медицины", Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

ФЕНОТИПИРОВАНИЕ ПО БИОХИМИЧЕСКИМ МАРКЕРАМ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ОТВЕТА РАСТЕНИЙ ДЛЯ СКРИНИНГА СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Проведен полевой скрининг и фенотипирование по биохимическим параметрам сортов озимой пшеницы степного экотипа при экзогенной обработке растений пероксидом водорода. Количество ТБК-активных продуктов, фотосинтетических пигментов и сульфохиновозилдиацилглицерола существенно отличалось в листьях исследуемых сортов при нормальных условиях. После первой внекорневой обработки растений пероксидом водорода наблюдалось повышение содержания ТБК-активных продуктов и гидропероксидов, а после второй – их существенное снижение в листьях сорта Шестопаловка. Экзогенная обработка пероксидом водорода положительно влияла на формирование продуктивного стеблестоя и морфометрические параметры исследуемых растений.

Ключевые слова: озимая пшеница, пероксид водорода, ТБК-активные продукты, гидропероксиды, адаптация.

M. Musienko, DSc, Prof., Acad. of National Academy of Agrarian Science of Ukraine, N. Taran, DSc, Prof., V. Storozhenko, PhD, L. Batsmanova, PhD, N. Grudina, engene., N. Svetlova, PhD, O. Serga, PhD ESC Institute of biology and medicine, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

PHENOTYPING WITH BIOCHEMICAL MARKERS OF PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF PLANTS TO SCREENING OF WINTER WHEAT VARIETIES

Field screening and phenotyping with biochemical parameters of winter wheat plants of steppe ecotype treated with exogenous hydrogen peroxide was carried out. The content of TBARS, photosynthetic pigments and sulphoquinovosyl diglyceride significantly different in leaves of all varieties under normal conditions. The increase in content of TBARS and hydroperoxides was observed after the first foliar treatment of plants by hydrogen peroxide. After the second treatment we observed significant reduction of them in leaves of Shestopalivka variety. Exogenous treatment with hydrogen peroxide iduced positive influence on the formation of planting and morphometric parameters of investigated plants.

Key words: winter wheat, hydrogen peroxide, TBARS, hydroperoxides, adaptation.

УДК: 636:599:528.6:633.24

Р. Федорук, д-р вет. наук, проф., М. Храбко, асп., М. Цап, канд. с.-г. наук, Г. Денис, канд. с.-г. наук
Інститут біології тварин НААН, Львів, Україна,
У. Тесарівська, канд. вет. наук

Державний науково-дослідний контрольний інститут ветеринарних препаратів та кормових добавок, Львів, Україна

РЕГУЛЯТОРНИЙ ВПЛИВ НАНОГЕРМАНІЮ ЦИТРАТУ НА ВМІСТ МАКРО- І МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ТКАНИНАХ ВАГІТНИХ САМИЦЬ ЩУРІВ F₁

Встановлено вірогідні міжгрупові зміни вмісту макро- та мікроелементів у крові, внутрішніх органах та стегновому м'язі вагітних самиць щурів F₁ за тривалої дії різних доз наногерманію цитрату, отриманого методом нанотехнології. Виявлено інгібуючий вплив цитрату Ge на вміст Ca у крові тварин усіх дослідних груп, проте концентрація P вірогідно зростала за впливу тільки низьких доз цитрату Ge. Характерно, що за дії 10 і 20 мкг Ge відзначено вірогідно нижчий вміст Cu, Co, Fe і Zn у печінці, проте високий вміст Mn у печінці, нирках та стегновому м'язі. Застосування високої дози HGeЦ, в кількості 200 мкг Ge/кг маси тіла, зумовлює збільшення вмісту Fe і Zn у печінці та Co у м'язі, але зменшення Mn у легенях. Неоднаковий вплив різних доз цитрату Ge на вміст окремих елементів у тканинах вагітних самиць щурів F₁ підтверджується аналогічними змінами абсолютного вмісту мікроелементів у внутрішніх органах за перерахунку на їх масу.

Ключові слова: тканини, цитрат германію, щури, макро- та мікроелементи.

Вступ. Органічні сполуки Ge активно досліджуються в біології, медицині та ветеринарії, оскільки мають високу біологічну активність порівняно з його оксидами та солями мінеральних кислот. В Україні методом нанотехнології одержано екологічно безпечний цитрат Ge, що володіє низкою переваг порівняно з його мінеральними та хімічно синтезованими органічними сполуками [1–3]. Висока метаболічна спроможність наногерманію цитрату (HGeЦ) зумовлює різноманітні фізіологічно виражені ефекти, у тому числі виявляє різнонаправлені зв'язки з іншими макро- і мікроелементами, впливає на їх кумуляцію у тканинах і органах [2–4]. У зв'язку з цим у біологічній науці приділяється значна увага особливостям взаємодії Ge з окремими макро- та мікроелементами в організмі, як важливій медико-біологічній і соціальній проблемі [2, 5]. Значна кількість робіт присвячена дослідженню взаємозв'язку есенційних елементів, у тому числі їх цитратів, у фізіолого-біохімічних процесах організму [5, 6]. Зокрема відзначено, що Ge, Cu, Zn, Se, Mo беруть участь у процесах клітинного дихання, репродукції ДНК і РНК, дезактивації вільних радикалів, а перекисне окиснення ліпідів у гепатоцитах щурів інгібується введенням Cr, Mn і Zn [3, 5]. Одержано дані про важливу роль Ge у процесах мінералізації кісток. Зокрема, відзначено позитивний вплив карбоксиметилгермесквіок-

сану на терапевтичний перебіг експериментальної моделі остеопорозу [7]. Доведено, що застосування сполук Ge з органічними кислотами впливає на обмін Ca і P в організмі та депонування їх у кістковій тканині. Такі сполуки виявляють карієс-профілактичну дію і сприяють покращенню процесів мінералізації кісток [2, 3, 7].

На даний час вивчено умови регуляторного впливу середовища на засвоєння макро- і мікроелементів в організмі [5, 8]. Відзначено, що вміст Ge у лікарських рослинах (женьшень, деревій, кульбаба) виявляє регуляторний прямо пропорційний зв'язок із рівнем Fe, Cu, Zn, Mn [9]. Установлено, що на біодоступність та депонування мінеральних елементів в організмі впливає їх взаємодія як у травному каналі, так і у процесах метаболізму [3, 10]. Експериментальне вивчення HGeЦ, що започатковане в Інституті біології тварин НААН, також указує на його високу фізіологічну активність у різних дозах і метаболічний зв'язок з іншими мікроелементами [4, 6]. Однак, вікові, статеві та органо-тканинні особливості дії різних доз HGeЦ, синергічні та антагоністичні зв'язки Ge з іншими мікроелементами не з'ясовані.

Матеріали і методи. Дослідження проведено у віварії Інституту біології тварин НААН на білих лабораторних щурах-самицях, поділених на 4 групи за принци-