

УДК 633.11:631.95:575.21

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.127.13>

МУТАЦІЇ СТРУКТУРИ РОСЛИНИ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ, ВИКЛИКАНІ ДИМЕТИЛСУЛЬФАТОМ

Назаренко М.М. – д.с.-г.н.,

професор кафедри селекції і насінництва,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Ізболдін О.О. – доцент кафедри рослинництва,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Метою наших досліджень є встановлення мінливості мутацій архітектури стебла сучасних сортів пшениці озимої української селекції щодо їх взаємодії з концентраціями хімічного мутагену та взаємодії генотипу з мутагеном. Мутації, що мають агрономічну цінність, такі як коротке стебло, карликові та напівкарликові, також були досліджені. Отримано нові перспективні мутантні лінії в рамках програми мутаційної селекції. Основним компонентом успішної мутаційної селекції була взаємодія генотип-мутаген (за даними факторного аналізу). Завданням наших досліджень є опис генотипової варіації нових мутантних ліній пшениці озимої за висотою та будовою рослини, дослідження ролі взаємодії генотип-мутагену у формуванні нової ознаки. Найбільш ключовими об'єктами є система зв'язків між генотипом і природою хімічного мутагену, концентрацією мутагену. По-друге, наше завдання оцінити повторюваність мутагенного ефекту і його придатність для майбутнього процесу поліпшення рослин.

За виникаючими мутаціями (в сенсі частоти мутації та спектру) генотипи можна розділити на дві групи. У першій групі знаходили лише сорти, отримані за допомогою хімічних мутагенів. У другій групі усі інші. Диметилсульфат був більш корисним для отримання мутацій за архітектурою рослин для будь-яких генотипів. Вищий рівень короткостебельності та напівкарликовості індукував диметилсульфат 0,05%. Напівкарликові як мутації відзначалися високим рівнем взаємодією генотип-мутаген при дії ДМС. ДМС відзначився як мутаген для створення нового варіаційного матеріалу за висотою рослин і структурою стебла, виявився більш успішним, ніж інші хімічні мутагени, на рівні гамма-променів, його можна використовувати як для селекції на базі мутацій, так і для спеціальних досліджень деяких типів індукції мутації (як приклад – карликові форми). У комплексі з відповідним генотипом можна збільшити частоту мутацій за висотою рослини та восковою поволокою. Було отримано мутантні лінії з коротким стеблом і змінами воскової поволоки як для перспективних нових сортів, так і для джерел генетичної колекції для можливих майбутніх змін в архітектурі рослин. Сім ознак показали значний вплив генотипу як ключового компонента для успіху мутаційної селекції, у всіх випадках взаємодія генотип-мутаген щодо результатів факторного аналізу була важливою у своєму впливі на частоту мутацій.

Ключові слова: пшениця озима, хімічний мутагенез, висота та структура рослини, диметилсульфат.

Nazarenko M.M., Izboldin O.O. Winter wheat plant structure mutations caused by dimethylsulfate

The objectives of our investigations are to describe the variability by mutations of stem architecture of the modern Ukrainian winter wheat varieties regarding their interactions with chemical mutagen concentrations and genotype-mutagen interaction specific. Agronomic-value mutations like as short stem, dwarfs and semi-dwarfs have been investigated too. New perspective mutant lines have been obtained in terms of mutation breeding program. Main components for mutation breeding successful was genotype-mutagen interaction (according to factor analyses). The objectives of our investigations are to describe the genotypic variation of new mutant winter wheat lines by plant height and structure, investigation of role genotype-mutagen interactions at formation of new trait. The most target objects are developing relations between genotype and nature of chemical mutagen, mutagen concentration. Second our purpose to estimate recurrent mutagen effect and its suitability for future plant improvement process.

By mutations occur (in sense of mutation rate and spectra) genotypes can be subdivided on two groups. At the first group only varieties, which obtained with chemical mutagens were

observed. At second group other varieties. Dimethylsulfate were more useful for obtaining mutations by plant architecture for any varieties. Higher level of short-stem and semi-dwarfs mutation were induced by dimethylsulfate 0,05%. Semi-dwarfs as mutations significance responded to dimethylsulfate action by genotype-mutagen interaction. DMS as a mutagen for creation new variation material on plant height and stem structure has been shown as more successful than other chemical mutagens, on the level of gamma-rays and this mutagen can be used both for mutation breeding and special investigations by some types of mutation induction (as for example – dwarfs forms). In complex with proper genotype it possible to increase rate of mutations by plant height and waxy bloom. Some mutant lines with short stem and changes in waxy bloom has been obtained both as for perspective new varieties and the sources for winter genetic-value collection for possible future changing in plant architecture. Seven traits appeared significant influence of genotype as a key component for mutation breeding success, all times genotype-mutagen interaction regarding results of factor analyze was significance in its influence on mutation rates.

Key words: winter wheat, chemical mutagenesis, plant height and structure, dimethylsulfat.

Постановка проблеми. Експериментальний мутагенез успішно застосовується при поліпшенні основних культур для отримання нових агрономічних ознак. Отримано індуковані мутації озимої пшениці за морфологічними та кількісними ознаками шляхом обробки різними типами мутагенів [2]. Основною метою використання мутагенів було індукування генетичної варіації агрономічно-важливих ознак. На врожайність і якість зерна, як на складні полігенні ознаки, сильно впливає комплекс ознак архітекtonіки рослин (висота, товщина, воскова поволока) [1, 3].

Понад 3500 сортів рослин, отримано як прямі мутанти або отримані від їх схрещування, 2700 мутантних сортів різних рослин, включаючи зернові культури, були створені в усьому світі шляхом прямого чи непрямого використання мутаційної селекції [4].

Мутаційна селекція успішно використовується для покращення якості, а також для доповнення зусиль, докладених за допомогою традиційних методів селекції рослин. Індукована мутація є основним джерелом зміни генетики сільськогосподарських рослин, яку може бути важко вивести через схрещування та інші процедури селекції [5].

Озима пшениця – важлива культура, яка пристосована до типових погодних умов у поточному кліматі [2, 15]. У мінливому кліматі підвищена частота та радикальність несприятливих погодних явищ, які часто мають локальний характер, вважаються головною загрозою для виробництва пшениці [6].

Підвищення продуктивності зерна та його компонентів у пшениці озимої за рахунок використання мутагенів призводить до створення нових сортів із покращеними ознаками. Використання індукованих мутацій стало важливою технікою оптимізації структури рослин [5, 7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Висота рослин є однією з основних агрономічних ознак, пов'язаних з архітектурою рослини та врожайністю зерна. Висота рослини вважається основною ознакою зернових культур, що впливає на архітектуру рослин і врожайність зерна. У дослідженнях китайських вчених новий мутант м'якої пшениці NAUH167, створений обробкою етилметилсульфатом, демонструє більш високу куцистість і зменшену висоту рослини, що пояснюється зменшенням кількості клітин і їх довжини. Генетичний аналіз показав, що висота стебла та карликовий фенотип були пов'язані та контролювалися частково рецесивним геном [8].

Карликові та напівкарликові мутації мають взаємний вплив. Наприклад, ген карликовості Rht-5 був пов'язаний із зменшенням висоти рослини, затримкою дати збирання на 1 день, збільшенням кількості продуктивних стебел, одночасно

зменшуючи кількість колосків та кількість зерен. Результати цього дослідження можуть бути корисними для належного використання гена карликовості Rht-5 у селекційних програмах для покращення стійкості до вилягання, потенціалу врожайності пшениці та підвищення ефективності селекції за допомогою маркерів для агрономічних ознак [9].

Однією зі стратегій вирішення цього завдання є підвищення продуктивності зерна шляхом оптимізації структури рослин. Як зразок цього дослідження, ген напівкарликовості 8 (Rht8) є одним із небагатьох, разом із генами зеленої революції, який зменшує висоту пшениці (*Triticum aestivum* L.) і покращує стійкість до вилягання без шкоди для урожайності зерна. Rht8 широко використовується в посушливих середовищах, де він підвищує адаптивність рослин. Морфологічний аналіз показує, що напівкарликовий фенотип ліній Rht8 зумовлений коротшими міжвузловими сегментами вздовж стебла пшениці, що досягається завдяки зменшеному подовженню клітин [8, 10, 11, 15].

Розробка мутантів озимої пшениці не тільки забезпечила нові генетичні ресурси для покращення пшениці, але й покращила наше розуміння регуляції цих ознак на молекулярному рівні. Ідентифікація карликового мутанта з компактним колосом, NAUH164, отриманого після обробки етилметилсульфонатом сорту пшениці Sumai 3, зменшила висоту рослини та вкоротила довжину колоса. Карликовість і компактний шип контролювалися єдиним домінантним геном, який отримав назву Rht23 [2, 12].

Щодо 47 сортів пшениці, що містять різні алелі Rht, скринінг на їхню здатність виходити з зимнього періоду, а також детальна фізіологічна характеристика в полі показали, що відмінності на ранніх стадіях розвитку були пов'язані з урожаєм зерна. Але зниження продуктивності за сучасними дослідженнями не завжди характерне для карликових сортів озимої пшениці з типовими гіберелін-чутливими (GAR) генами карликовості, такими як Rht12 [14]. У дослідженні деяких генотипів виявлено, що обробка GA3 суттєво не вплинула на висоту рослин ліній. Біомаса рослин і форма насіння карликових ліній, оброблених GA3, були значно збільшені порівняно з необробленими карликовими рослинами, тоді як у високостеблових лініях такої різниці не було. Карликові рослини Rht12 розвивалися швидше, ніж контрольні рослини, і досягли стадії колосіння на 17 днів раніше, а зацвіли майже на 7 днів раніше, ніж високостеблові лінії [13].

Постановка завдання. Насіння озимої пшениці сортів Фаворитка, Ласуня, Хуртовина (мутантні та мутантно-рекомбінантні сорти за класифікацією МАГАТЕ, радіомутанти), лінія 418, Колос Миронівщини (гібридні сорти), Сонечко і Калинова (мутантні сорти, хемомутанти), Волошкова (мутантний сорт, термомутагенез – низька плюсова температура на етапі розвитку рослин яровизації) пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) замочували розчинами хімічного мутагену диметилсульфату (ДМС) 0,0125, 0,025 та 0,05%. Кожна обробка складалася з 1000 насінин пшениці. Експозиція хімічних речовин мутагенів становила 18 годин. Для контролю використовували необроблені вихідні сорти та національний стандарт за врожайністю зерна Подолянка.

У поколіннях M_2 – M_3 родини мутантів були відібрані за допомогою візуальної оцінки. Посів проводили вручну, в кінці вересня, на глибину 4–5 см і з нормою 100 життєздатних насінин в рядок (довжина 1,5 м), міжряддя 15 см, між зразками 30 см, 1–2 ряди для зразка з контрольними рядами необроблених сортів і стандартом у кожному інтервалі двадцяти зразків.

Оцінку ознак та успадкування змінених ознак проводили в поколіннях M_4 – M_8 . Контролями були національний стандарт за продуктивністю Подолянка та вихідний сорт. Методи роботи в селекційних випробуваннях відповідають вимогам державної сортоекспертизи. Дослідження проводили як рандомізований блоковий метод із трьома повторами та розміром ділянки від 5 до 10 м² у 2–3 повторах.

Досліди проводили на дослідному полі Дніпровського державного аграрно-економічного університету (с. Олександрівка, Дніпровський район, Дніпропетровська область, Україна). Математичну обробку результатів проводили факторним аналізом за допомогою модуля ANOVA, групування випадків мутацій здійснювали кластерним та дискримінантним аналізом. У всіх випадках використовували стандартні засоби програми Statistica 8.0.

Виклад основного матеріалу дослідження. Загальний розмір популяції 12000 сімей у другому-третьому поколінні (включаючи вихідні сорти без обробки як контрольні для оцінки змін мутантів у родинах) представлений варіантами мутагенної обробки в таблиці 1 (частота мутацій для змін у структурі рослини). Дослідження проводяться з тривіальними концентраціями мутагенів для селекційних цілей [1].

Таблиця 1

Частота за мутація структури рослини, %

Варіант	Колос Миронівщини	Калинова	Волошкова	Сонечко	Фаворитка	Хуртовина	Ласуна	Лінія 418
Контроль	0,4	1,0	1,6	0,2	0,2	0,0	1,2	0,6
ДМС 0,0125 %	4,2	4,4	5,2	7,6	3,6	2,2	2,4	4,4
ДМС 0,025 %	3,6	4,6	7,4	10,0	5,4	2,6	3,4	4,8
ДМС 0,05 %	9,5	7,75	9,3	13,9	6,8	4,0	7,5	6,0

З поколінь M_2 – M_3 (з усіх дослідів, включно з усіма варіантами з іншими мутагенами) визначено загалом 1482 потенційно продуктивних мутаційних лінії озимої пшениці та 5862 лінії з мутаційними змінами. У всіх варіантах досліджено 500 родин, усі концентрації оптимальні для виживання рослин. Загальна частота мутацій коливалася від 9,4% за дії ДМС 0,0125% (Хуртовина) до 28,3% за дії ДМС 0,05% (Волошкова) (табл. 1).

Стосовно частоти мутацій структури рослин дії мутагену виявлено таку тенденцію. Цей тип мутацій був вищим для Сонечко та найменшим для Хуртовини та лінії 418. Згідно з даними взаємодія мутаген-генотип для ДМС була показана в дії різного типу мутацій для різних концентрацій.

З цих досліджень було встановлено факт підвищення загальної частоти мутацій і кількості мутаційних ознак (рівня мінливості) щодо генотипу після дії ДМС, особливо для мутацій висоти, таких як високостеблові та карликові форми. Щодо даних таблиць 2–4, будь-яка статистично достовірна різниця між показниками в цій групі між генотипами спостерігалася для сортів Сонечко, Хуртовина, Фаворитка, але лінія 418 демонструє більш складний характер за цим параметром.

Таблиця 2

Спектр мутацій (радіомутанти), %

N	Ознака	Контроль	ДМС 0,0125 %	ДМС 0,025%	ДМС 0,05 %
Фаворитка					
1	Високостеблові	0	0,8	1,4	1
2	Короткостеблові	0,2	1	1,4	1,6
3	Напівкарлики	0	0,2	0,6	0,8
4	Карлики	0	0,2	0,4	0,8
5	Інтенсивна воскова поволока	0	1	1,4	1,6
6	Слабка воскова поволока	0	0,4	0,2	1
7	Всього	0,2	3,6	5,4	6,8
Хуртовина					
1	Високостеблові	0	0	0	0,2
2	Короткостеблові	0	0,4	0,6	0,8
3	Напівкарлики	0	0,2	0,6	1,2
4	Карлики	0	0,2	0,4	0,2
5	Інтенсивна воскова поволока	0	0	0,2	0,2
6	Слабка воскова поволока	0	0,4	0,4	0,6
7	Без воскової поволоки	0	1	0,4	0,8
8	Всього	0	2,2	2,6	4
Ласуня					
1	Високостеблові	0	0	0,2	0
2	Короткостеблові	0	0	0,2	0
3	Напівкарлики	0,4	0,6	0,4	1
4	Карлики	0,4	0,8	1	2,75
5	Інтенсивна воскова поволока	0	0	0,2	0,75
6	Слабка воскова поволока	0	0	0,2	0,5
7	Без воскової поволоки	0,2	0,6	0,4	1
8	Товсте стебло	0,2	0,4	0,8	1,5
9	Всього	1,2	2,4	3,4	7,5

Показані дані для мутацій високе стебло, коротке стебло, напівкарликового, карликового, відмінності типів воскової поволоки та товщини стебла.

Частота типів мутацій варіювала від 0,6 (Калинова, Сонечко, Хуртовина) до 2,6% (Волошкава, лінія 418) і від 0,6 (Сонечко) до 1,4% (лінія 418) для ДМС. Як бачимо з таблиць, нижча частота та менша кількість типів мутацій цієї групи характерні для сортів, які були менш чутливими до цього типу мутагенної дії.

Кластерний аналіз (рис. 1) підтвердив складний характер взаємодії мутаген-генотип. Статистично достовірно визначено чотири групи, але лише одна складається з кількох сортів, інші три групи складаються з одного сорту для кожної.

Загальна частота мутацій для всіх типів мутацій збільшувалася зі зростанням концентрації. Високий рівень мінливості відповідав вищим концентраціям ДМС. Частота мутацій за структурою рослин підпорядковується цій тенденції (виключення сорти Сонечко (зниження частоти) та лінія 418 (частота нижча). Дані були

Таблиця 3

Спектр мутацій (хемомутанти), %

N	Ознака	Контроль	ДМС 0,0125 %	ДМС 0,025%	ДМС 0,05 %
Калинова					
1	Високостеблові	0,8	0,6	0	0
2	Кортоткостеблові	0,2	0,8	0,8	1,75
3	Напівкарлики	0	0,4	0,4	0,75
4	Карлики	0	0,2	0,6	0,75
5	Інтенсивна воскова поволока	0	1,4	1,2	2,5
6	Слабка воскова поволока	0	1	1,6	2
7	Всього	1	4,4	4,6	7,75
Сонечко					
1	Високостеблові	0	2,2	2,8	4,5
2	Кортоткостеблові	0	0,8	1,2	1,0
3	Напівкарлики	0	0,2	0,8	0,8
4	Карлики	0	0	1	1,3
5	Інтенсивна воскова поволока	0,2	2,2	2,8	4,0
6	Слабка воскова поволока	0	2,2	1,4	2,3
7	Всього	0,2	7,6	10	13,9

достатньо повними для такого висновку, можливо, через більшу сайт-специфічну дію хімічних мутагенів.

Вихідний матеріал за способом селекції можна поділити на радіомутанти (Фаворитка, Хуртовина, Ласуня), хемомутанти (Калинова і Сонечко), термомутанти (як мутагенний фактор використано низьку плюсову температуру на етапі

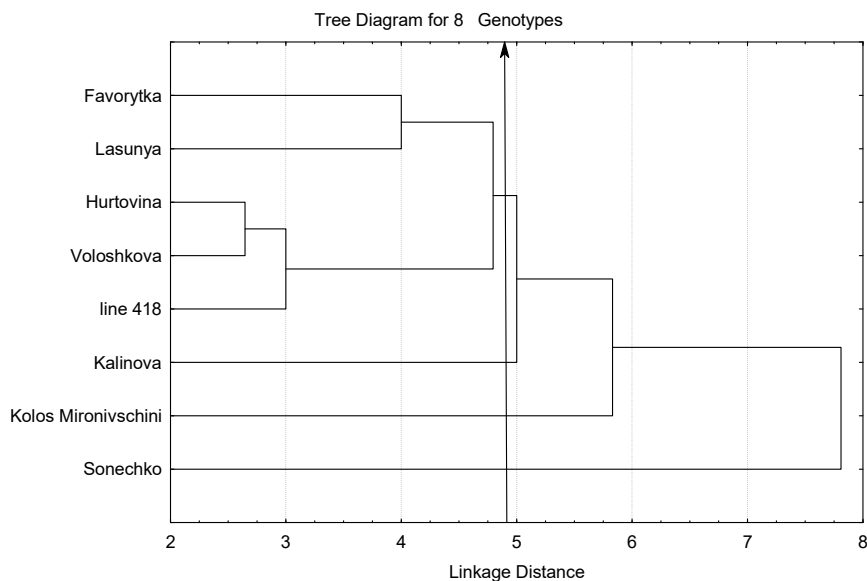


Рис. 1. Результати кластерного аналізу

Таблиця 4

Спектр мутацій (гібридні сорти), %

N	Ознака	Контроль	ДМС 0,0125 %	ДМС 0,025%	ДМС 0,05 %
Колос Миронівщини					
1	Високостеблові	0,2	0,4	0	0
2	Короткостеблові	0,2	1,2	0,8	2,75
3	Напівкарлики	0	0,4	0,6	1
4	Карлики	0	0	0,2	0,75
5	Інтенсивна воскова поволока	0	1,6	1,2	3
6	Слабка воскова поволока	0	0,6	0,8	2
7	Всього	0,4	4,2	3,6	9,5
Волошкова					
1	Високостеблові	0	0,2	0,4	0
2	Короткостеблові	0	0,2	0,4	0,9
3	Напівкарлики	0,6	0,6	0,6	0
4	Карлики	0,8	1,6	2,2	2,9
5	Інтенсивна воскова поволока	0	0,2	0,6	0,9
6	Слабка воскова поволока	0	0	0,2	0,6
7	Без воскової поволоки	0	1,8	1,6	2,6
8	Товсте стебло	0,2	0,6	1,4	1,4
	Всього	1,6	5,2	7,4	9,3
лінія 418					
1	Високостеблові	0,2	1,0	0,6	0,75
2	Короткостеблові	0	1,2	1,4	1,75
3	Напівкарлики	0	0,4	0,6	0,75
4	Карлики	0	0	0,2	0,25
5	Інтенсивна воскова поволока	0,4	0,8	1,2	1,5
6	Слабка воскова поволока	0	1,0	0,8	1,0
7	Всього	0,6	4,4	4,8	6,0

розвитку рослини – яровизації) (Волошкова) та форми, отриманий після гібридизації (Колос Миронівщини, лінія 418). Для першої групи (табл. 2) характерна однакова кількість і типи мутацій для всіх концентрацій, але реакція генотипів була різною для всіх трьох генотипів.

Частота мутацій невисока, сорт Ласуня характеризується більшою кількістю типів мутацій, карликові мутації були регулярними для всіх генотипів під дією ДМС. Меншу мінливість виявлено у сортів Фаворитка та Хуртовина.

Рідко відбуваються мутації товщини стебла, котрі, все ж таки, можна спостерігати у всіх варіантах, і вони з'являлися у всіх концентраціях і мутагенах, але не генотипах. Дія ДМС не є більш корисною для цього типу мутацій, ніж гамма-промені.

Для другої групи (табл. 3) виявлено вищу частоту мутацій для всіх сортів і концентрацій. Ми спостерігали переважно мутації за висотою рослини.

Для ДМС у цієї групи характерні такі показники мутацій за окремими ознаками: за товщиною стебла відмічено чотири випадки, три у сорту Волошкова та один

у сорту Ласуня (при помірних концентраціях ДМС); тонке стебло – малоймовірно для тих же сортів і ліній, але при будь-якій концентрації, особливо у сорту Волошка ДМС 0,05% (навіть аномально – до 0,9%); високостеблові мутанти ДМС індукує в дуже великій кількості і в більшості випадків дуже характерні для цього мутагену зміни ознаки, частота від 0 до 4,5%, в середньому 0,9%, у всіх сортів, за винятком певних концентрацій ДМС, у сортів Калинова та Колос Миронівщини; короткостеблові – висока ймовірність появи у всіх варіантах, в середньому 1,4%, показник в окремих варіантах від 0,2 до 2,9%, що значно вище, ніж у всіх інших мутагенів; напівкарлик – мутація відбувається з високою ймовірністю, майже для всіх варіантів, навіть перевищує гамма-промені, до 1,0% у сорту Колос Миронівщини при ДМС 0,05%, в середньому на рівні 0,5%, що пов'язано з особливістю дії мутагенного фактору; карликові, на відміну від попередніх хімічних мутагенів, також зустрічаються з дуже високою ймовірністю, до 1,2% у варіанті Сонечко, ДМС 0,05%, середня частота 0,4%, частота карликових і напівкарликових вірогідно зростає зі збільшенням концентрації мутагенного фактору; інтенсивна воскова поволока знову рідкісна мутація, лише в трьох варіантах (всі у сорту Хуртовина), але максимальна частота становила 0,6%, що вище, ніж у інших мутагенів; слабка воскова поволока високоймовірна, у всіх варіантах від 0,4 до 4,0%, в середньому 1,6%, тобто найбільш частий серед усіх мутагенних факторів; відсутність воскової поволоки до 2,3%, залежить від генотипу суб'єкта мутагенної дії, відсутня для сорту Хуртовина.

Стосовно таблиці 4 спостерігалася така ж ситуація, як і для хемомутантів з таблиці 1. У всіх випадках для всіх генотипів концентрація ДМС 0,05% була більш придатною для індукції мутації за структурою рослини.

Щодо дискримінантного аналізу наступні ознаки (виділені жирним шрифтом), що визначаються мутагенною дією – високе стебло, коротке стебло, напівкарликовий, карликовий, слабка воскова поволока, без воскової поволоки; відсутність інтенсивного воскової поволоки через особливості генотипу досліджуваного матеріалу, товщини стебла через рідкісну природу.

Щодо таблиці 6, класифікація за цим аналізом досягає дуже високого рівня ймовірності 87,5% і для всіх випадків і ознак для генотипів Фаворитка, Хуртовина, Ласуня, Калинова, Сонечко.

ДМС як мутаген має більш високу генотипоспецифічність дії, ніж інші раніше досліджені мутагени. За даними факторного аналізу за фактором ознаки

Таблиця 5

Результати дискримінантного аналізу

Варіативність в моделі	Уїлкс λ	Часткова	F-remove (4,02)	p-level
Високостеблові	0,405436	0,643572	1,232017	0,018700
Короткостеблові	0,357611	0,637308	1,347709	0,015700
Напівкарлики	0,486997	0,604990	1,101640	0,013569
Карлики	0,479965	0,597172	1,244381	0,011717
Інтенсивна воскова поволока	0,144359	0,826544	4,324530	0,243560
Слабка воскова поволока	0,327191	0,697178	1,577111	0,010711
Без воскової поволоки	0,317416	0,737115	1,627431	0,016987
Товсте стебло	0,116340	0,977850	3,025329	0,223189
Тонке стебло	0,147093	0,909876	2,786549	0,247689

Таблиця 6

Класифікаційна матриця

Сорт	Відсоток класифікації
Фаворитка	100,0
Хуртовина	100,0
Ласуня	100,0
Калинова	100,0
Сонечко	100,0
Лінія 418	66,7
Волошкова	66,7
Колос Миронівщини	66,7
Всього	87,5

мінливість по генотипу була статистично достовірною для таких ознак, як високе стебло, коротке стебло, напівкарликовий, карликовий, інтенсивна воскова поволока, слабка воскова поволока, без воскової поволоки; концентрація ДМС вплинула статистично достовірно для таких ознак, як високе стебло, низьке стебло, напівкарлик, карлик. Підсумовуючи, генотип відзначився як фактор мінливості ознак воскової поволоки (через відсутність або наявність відповідних ознак для кожного сорту), мінливість ознак висоти рослин визначалися як генотипом, так і концентрацією мутагену.

Згідно з аналізом ANOVA, кількість мутацій залежала від концентрацій у всіх випадках, зв'язок із генотипом і частотою мутацій було виявлено зі значною надійністю для високого стебла ($F=7,11$, $F_{\text{критичне}}=3,46$), короткого стебла ($F=7,24$, $F_{\text{критичне}}=2,48$), напівкарликових мутацій ($F=5,18$, $F_{\text{критичне}}=3,14$) і карликових мутацій ($F=6,01$, $F_{\text{критичне}}=3,09$).

Висновки і пропозиції. ДМС як мутаген для створення нового мутантного матеріалу за висотою рослин і структурою стебла виявився більш успішним, ніж інші хімічні мутагени, на рівні гамма-променів, і цей мутаген можна використовувати як для селекції, так і для спеціальних досліджень деяких типів індукції мутації (як приклад – карликові форми). У комплексі з відповідним генотипом можна збільшити частоту мутацій за висотою рослини та восковою поволокою. ДМС як

Таблиця 7

Факторне навантаження за чинниками

Ознака	Генотип	Концентрація
Високостеблові	0,676548	-0,543626
Короткостеблові	0,743654	0,425333
Напівкарлики	0,482999	0,696567
Карлики	0,467780	0,742229
Інтенсивна воскова поволока	0,456555	0,228113
Слабка воскова поволока	0,564533	0,135112
Без воскової поволоки	0,690299	-0,111159
Товсте стебло	0,034234	-0,098767
Тонке стебло	0,145632	0,023234
Факторна варіативність	2,865609	2,147610
Випадкова	0,233230	0,329116

мутаген більш специфічний у взаємодії мутаген-генотип і більш чітко демонструє деякі ефекти мутагенезу щодо природи хімічних агентів та взаємодії з генетичною природою рослинного матеріалу. Це може бути пов'язано з особливими взаємодіями між ДНК після дії хімічного мутагену та дії ДМС. ДМС як мутаген був ефективний для кожного типу мутантів у взаємодії з усіма дослідженими генотипами, але менш ефективний для сортів Фаворитка та Хуртовина. Іноді це залежить від концентрації (для деяких генотипів вищі дози були не настільки корисними, як низькі у порівнянні). ДМС як мутаген може спричинити високу частоту різного типу стеблових мутацій лише за одним винятком – товщини стебла. Високі концентрації ДМС були найбільш корисними для карликових мутацій серед інших мутагенів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Bordes J., Ravel C., Le Gouis J., Lapiere A., Charmet G., Balfourier F. Use of a global wheat core collection for association analysis of flour and dough quality traits. *Journal of Cereal Science*. 2011. 54. P. 137–134.
2. Çelik Ö., Ekşioğlu A., Akdaş E.Y. Transcript profiling of salt tolerant tobacco mutants generated via mutation breeding. *Gene Expression Patterns*. 2018. 29, P. 59–64.
3. Chen L., Hao L., Condon A.G., Hu Y-G. Exogenous GA3 Application Can Compensate the Morphogenetic Effects of the GA-Responsive Dwarfing Gene Rht12 in Bread Wheat. *PLoS ONE*. 2014. 9(1). e86431.
4. Chen S., Gao R., Wang H., Wen M., Xiao J, Bian N., Zhang R., Hu W., Cheng S., Bie T., Wang X. Characterization of a novel reduced height gene (Rht23) regulating panicle morphology and plant architecture in bread wheat. *Euphytica*. 2015. 203, P. 583–594.
5. Hiroyasu Y. Mutation breeding of ornamental plants using ion beams. *Breeding Science*. 2018. 68(1), P. 71–78.
6. Li H.J., Timothy D. M., Mc Intosh R.A., Zhou Y. Wheat breeding in northern China: achievements and technical advances. *The Crop Journal*. 2019. 7(6), P. 718–729.
7. Lingling C., Zhaoyan C., Ruolin B., Huijie Z., Xuejiao C., Huiru P., Yingyin Y., Zhaorong H., Mingming X., Weilong G., Qixin S., Aiju Z., Zhongfu N. Dissection of two quantitative trait loci with pleiotropic effects on plant height and spike length linked in coupling phase on the short arm of chromosome 2D of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2019. 132 (6), P. 1815–1831.
8. Nazarenko M. Identification and characterization of mutants induced by gamma radiation in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2016. LIX. P. 350–353.
9. Nazarenko M., Gorschar V., Lykholat Yu., Kovalenko I. Winter wheat mutations by plant height and structure caused by chemical supermutagens. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2020. LXIII (1). P. 443–449.
10. Prabhu, L. Pingali, C. The Green Revolution and Crop Biodiversity. In: Biological Extinction. New Perspectives. Cambridge University Press, Cambridge, 2019. P. 458.
11. Shu Q.Y., Forster B.P., Nakagava H., Plant mutation breeding and biotechnology. CABI publishing, Vienna, 2013. P. 611.
12. Spencer-Lopes M.M., Forster B.P., Jankuloski L. Manual on mutation breeding. Third edition. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2018. P. 672.
13. Tengcong J., Jian L., Yujing G., He J. Simulation of plant height of winter wheat under soil water stress using modified growth functions. *Agricultural Water Management*. 2020. 232, 106066.
14. Würschum T., Langer S. M., Longin F. H. Genetic control of plant height in European winter wheat cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*. 2015. 128(5), P. 865–874.
15. Xu T., Bian N., Wen M., Xiao J., Yuan C., Cao A., Zhang S., Wang X., Wang H. Characterization of a common wheat (*Triticum aestivum* L.) high-tillering dwarf mutant. *Theoretical Applied Genetic*. 2017, 130(3). P. 483–494.