

УДК 575.224.46:544.53:595.773.4

© 2016 Н. Г. СТРИЖЕЛЬЧИК

ОЦІНКА СУМІСНОЇ ДІЇ НЕІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ЛІКАРСЬКИХ ПРЕПАРАТІВ НА РІВЕНЬ МУТАГЕНЕЗУ В СТАТЕВИХ КЛІТИНАХ *DROSOPHILA MELANOGASTER* MG. (DIPTERA: DROSOPHILIDAE)

Стрижельчик, Н. Г. Оцінка сумісної дії неіонізуючого випромінювання та лікарських препаратів на рівень мутагенезу в статевих клітинах *Drosophila melanogaster* Mg. (Diptera: Drosophilidae). *Вісник Харків. ентомол. т-ва*. 2016. Т. XXIV, вип. 2. С. 29–35.

Досліджено особливості впливу неіонізуючого випромінювання на частоту домінантних летальних мутацій у статевих клітинах дрозофіли (*Drosophila melanogaster*, лінія Canton-S дикого типу) в умовах хімічно індукovanого мутагенезу. Як індуктор мутагенезу використовували лікарські препарати діоксидин і циклофосфамід. Як модифікатор мутагенних процесів використовували зелене світло. Застосовували метод обліку домінантних летальних мутацій у статевих клітинах дрозофіли. Не виявлено достовірного впливу зеленого світла на частоту домінантних летальних мутацій, індукованих лікарськими препаратами діоксидином і циклофосфамідом. 6 рис., 11 назв.

Ключові слова: дрозофіла, індукований мутагенез, модифікатори, сумісна дія, неіонізуюче випромінювання, лікарські препарати, статеві клітини, домінантні летальні мутації.

Стрижельчик, Н. Г. Оценка сочетанного действия неионизирующего излучения и лекарственных препаратов на уровень мутагенеза в половых клетках *Drosophila melanogaster* Mg. (Diptera: Drosophilidae). *Изв. Харьк. энтомол. о-ва*. 2016. Т. XXIV, вып. 2. С. 29–35.

Исследованы особенности влияния неионизирующего излучения на частоту доминантных летальных мутаций в половых клетках дрозофилы (*Drosophila melanogaster*, линия Canton-S дикого типа) в условиях химически индуцированного мутагенеза. В качестве индуктора мутагенеза использовали лекарственные препараты диоксидин и циклофосфамид. Модификатором мутагенных процессов являлось неионизирующее излучение. Применяли метод учёта доминантных летальных мутаций в зародышевых клетках дрозофилы. Не обнаружено достоверного влияния зелёного света на частоту доминантных летальных мутаций, индуцированных лекарственными препаратами диоксидином и циклофосфамидом. 6 рис., 11 назв.

Ключевые слова: дрозофила, индуцированный мутагенез, модификаторы, сочетанное действие, неионизирующее излучение, лекарственные препараты, половые клетки, доминантные летальные мутации.

Stryzhelchik, N. G. The study of the combined influence of non-ionizing radiation and medications on the mutagenesis level in germ cells of *Drosophila melanogaster* Mg. (Diptera: Drosophilidae). *The Kharkov Entomol. Soc. Gaz.* 2016. Vol. XXIV, iss. 2. P. 29–35.

Studies of the combined influence of non-ionizing radiation and medications on the mutagenesis level in drosophila germ cells have been carried out. The wild line Canton-S of *Drosophila melanogaster* was chosen as an object. The medications dioxidine and cyclophosphamide were used to induce the mutagenesis. The green light was a modifier of mutagenesis processes. After the exposition we counted dominant lethal mutations in drosophila germ cells. The green light was not shown to increase the frequency of dominant lethal mutations induced by medications dioxidine and cyclophosphamide. 6 figs, 11 refs.

Key words: drosophila, induced mutagenesis, modifiers, combined influence, non-ionizing radiation, medications, germ cells, dominant lethal mutations.

Вступ. В умовах постійного науково-технічного прогресу доквілля насичується генотоксичними факторами різної природи, наслідком чого є зростання спадкових хвороб, вроджених вад розвитку, безпліддя, онкологічних захворювань, передчасного старіння тощо.

Нині проблема індукovanого мутагенезу набуває надзвичайної гостроти у зв'язку з широким запровадженням до всіх сфер життєдіяльності людини різноманітних видів неіонізуючого випромінювання (мобільні телефони, мікрохвильові печі, різноманітні лазери, видиме світло з різною довжиною хвилі), що створює нову загрозу сумісної дії фізичних і хімічних факторів.

Профілактика індукovanого мутагенезу базується на широкому генетичному скринінгу, спрямованому на вилучення мутагенів або їхнє нормування в навколишньому середовищі. Виникає необхідність максимального розвитку досліджень зі скринінгу мутагенів не лише хімічної, але й — що особливо актуально — фізичної природи.

Водночас із метою профілактики деяких захворювань використовують спеціально розроблені «фотонні матриці Коробова» з різною довжиною хвилі світла: червоне (650 нм), жовте (590 нм), зелене

(565 нм) та синє (470 нм). Фотонні матриці широко використовують у клініках, санаторіях, практиці сімейних лікарів (фототерапія) та самих пацієнтів у домашніх умовах.

Зібрано чимало матеріалу щодо позитивного впливу видимого світла з різною довжиною хвилі на організм людини. Водночас лише незначна кількість робіт присвячена вивченню його впливу на генетичний апарат статевих і соматичних клітин еукаріотів. Аналіз літератури (Alenina, 2000; Navrotskaya, 2006) свідчить про те, що неіонізуюче випромінювання (а саме, видиме світло з різною довжиною хвилі) здатне спричинювати різноманітні біологічні ефекти, які мають певні особливості. Актуальним, насамперед, є дослідження генетичних наслідків такої дії.

Найбільш вивченим, зручним, інформативним, біоетичним, оперативним і недорогим еукаріотичним тест-об'єктом для проведення таких досліджень є *Drosophila melanogaster*. У клітинах дрозофіли, як і у клітинах ссавців, непрямі мутагени активуються ферментною системою оксидаз (Zijlstra, Vogel and Braimer, 1987). На дрозофілі можна вивчати весь спектр генетичних подій у соматичних і статевих клітинах. Дрозофіла входить до багатьох схем тестування різноманітних чинників на мутагенність (Strizhelchik, 2005 (2006)).

У дослідах, проведених на дрозофілі, В. В. Навроцька (Navrotskaya, 2006) показала відсутність змін за частотою доміантних летальних мутацій після впливу червоного (650 нм) і зеленого (565 нм) світла, — тобто, світло з такою довжиною хвилі не виявляло мутагенних властивостей.

Водночас відомо, що не лише хімічні речовини, але й деякі неіонізуючі види випромінювання здатні виявляти комутагенні властивості, посилюючи негативний вплив деяких чинників на генетичні структури клітин. Іншими авторами у досліджах на тваринах було встановлено існування комутагенних/кокканцерогенних властивостей лазерного випромінювання (мутагенність якого не доведено). У раніше проведених нами дослідженнях було виявлено комутагенні властивості неіонізуючого випромінювання, а саме мікрохвильового (Stryzhelchik, 2010).

Таким чином, дані щодо вивчення потенційної мутагенної та комутагенної активності неіонізуючого випромінювання є фрагментарними. Тому дуже важливими є дослідження прояву мутагенних і комутагенних властивостей неіонізуючого випромінювання у статевих клітинах еукаріотів.

Метою дослідження було оцінювання потенційних модифікуючих (у тому числі комутагенних) властивостей неіонізуючих видів випромінювання, зокрема його здатності впливати на рівень мутагенезу, індукованого лікарськими препаратами діоксидином і циклофосфамідом у статевих клітинах *Drosophila melanogaster*.

Матеріали та методи. Як індуктори мутагенезу використовували стандартні мутагени — лікарські препарати діоксидин (ВАТ «Фармак», Україна) та циклофосфамід (ВАТ «Київмедпрепарат», Україна).

Модифікатором індукованого мутагенезу слугувало неіонізуюче випромінювання — зелене світло з довжиною хвилі 565 нм. Джерелом випромінювання були фотонні матриці Коробова «Барва-Флекс/24ФМ», розроблені у Харківському національному університеті ім. В. Н. Каразіна.

Дослідження проводили на *Drosophila melanogaster* лінії дикого типу Canton-S, яка характеризується високою життєздатністю й інтенсивністю відкладання яєць і добре вивченим спонтанним фоном мутабільності. Дослідження проводили у декількох варіантах (10–15 пробірок на кожен варіант).

У першому варіанті вивчали вплив зеленого світла на рівень спонтанного мутагенезу у статевих клітинах дрозофіли. Культуру дрозофіли утримували на стандартному середовищі. Опромінюванню зеленим світлом піддавали яйця та личинки протягом 72 год.

У другому варіанті оцінювали мутагенний ефект, індукований препаратом діоксидин. Культуру дрозофіли утримували на поживному середовищі, яке містило препарат діоксидин у концентрації 0,6 мг/см³. Тобто, впливу діоксидину підлягали личинки, що вийшли з відкладених яєць. Інформативність вибраних концентрацій була показана раніше (Strizhelchik, 2008 (2009), 2009; Strygelchuk, 2009).

У третьому варіанті вивчали потенційні модифікуючі можливості зеленого світла, а саме — його здатність впливати на мутагенний ефект, індукований діоксидином. Для цього культуру дрозофіли утримували на поживному середовищі, яке містило препарат діоксидин (0,6 мг/см³). Таким чином, опромінюванню зеленим світлом підлягали яйця та личинки протягом 72 год, а дії діоксидину — личинки, що вийшли з відкладених яєць.

У четвертому варіанті оцінювали мутагенний ефект, індукований препаратом циклофосфамід. Концентрація препарату в поживному середовищі становила 0,02 мг/см³.

У п'ятому варіанті досліджували здатність зеленого світла впливати на мутагенний ефект у статевих клітинах дрозофіли, індукований препаратом циклофосфамід.

У всіх варіантах дослідів аналізували вирощених у зазначених вище умовах самців, яких схрещували з інтактними віргінними самками цієї самої лінії та розміщували в окремих пробірках для подальшого аналізу.

Потенційні модифікуючі властивості зеленого світла оцінювали методом обліку домінантних летальних мутацій у статевих клітинах самців дрозофіли. Домінантні летальні мутації — генетичні зміни, що відбуваються в батьківських статевих клітинах і спричиняють загибель представників першого покоління потомства (F_1). Домінантні летальні мутації оцінювали на стадії лялечки за частотою постембріональних втрат і визначали у відсотках (Tikhomirova, 1990; Strizhelchik, 2005 (2006)) Статистичний аналіз одержаних результатів за частотою домінантних летальних мутацій проводили з використанням критерію χ^2 (Lakin, 1990).

У випадку індукції домінантних летальних мутацій, які спричиняють загибель представників першого покоління потомства дрозофіли, відбувається зниження «виходу» потомства, тобто зниження рівня плодючості. Такий рівень оцінювали за кількістю лялечок і кількістю імаго на одну культуру дрозофіли (на одну пробірку) (Tikhomirova, 1990; Strizhelchik, 2005 (2006)). Достовірне зниження плодючості порівняно з контролем за кількістю лялечок і імаго є додатковим підтвердженням наявності мутагенної активності досліджених препаратів.

У дослідях з оцінювання впливу зеленого світла на мутагенний ефект діоксидину проаналізовано 2 930 лялечок і 2 664 імаго, а циклофосфаміду — 3 074 лялечок і 2 773 імаго. Статистичний аналіз одержаних результатів за показниками плодючості проводили з використанням t -критерію Стьюдента (Lakin, 1990).

Результати та обговорення. Аналіз даних свідчить про те, що в контролі частота домінантних летальних мутацій становила $4,9 \pm 0,71$ %, рівень плодючості, оцінений за кількістю лялечок, — $83,1 \pm 4,3$ %; за кількістю імаго — $79,0 \pm 4,1$ %.

Сумісний вплив зеленого світла та діоксидину. У першому варіанті дослідів дія зеленого світла (565 нм) не індукувала достовірного підвищення частоти домінантних летальних мутацій порівняно з контролем. Частота домінантних летальних мутацій становила $6,1 \pm 0,66$ % ($\chi^2 = 1,3$; $p > 0,05$). У другому варіанті після впливу окремо діоксидину частота домінантних летальних мутацій була статистично значуще більшою порівняно з контролем у 3,1 разу. Частота домінантних летальних мутацій становила $15,2 \pm 1,8$ % ($\chi^2 = 48,8$; $p < 0,05$) (рис. 1).

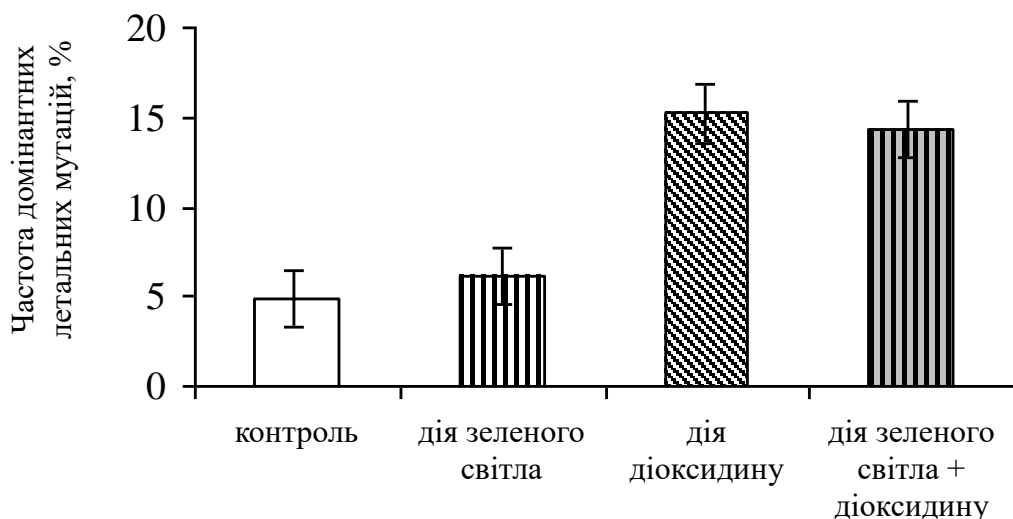


Рис. 1. Вплив зеленого світла (565 нм) на частоту домінантних летальних мутацій, індукованих діоксидином у статевих клітинах *D. melanogaster*.

У третьому варіанті дослідів не виявлено здатності зеленого світла впливати на рівень мутагенезу, індукованого лікарським препаратом діоксидином. В умовах сумісного впливу двох факторів (зелене світло + діоксидин) було індуковано статистично значуще більшу частоту домінантних летальних мутацій порівняно з контролем у 2,9 разу. Частота індукованих домінантних летальних мутацій становила $14,3 \pm 1,16$ % ($\chi^2 = 41,6$; $p < 0,05$).

Порівняльний аналіз результатів, одержаних у першому і третьому варіантах дослідів за впливу окремо зеленого світла та сумісного впливу двох факторів (зелене світло + діоксидин), виявив достовірну різницю за частотою домінуючих летальних мутацій ($\chi^2 = 24,9; p < 0,05$).

Водночас статистичний аналіз результатів, одержаних у другому і третьому варіантах дослідів при порівнянні впливу окремо діоксидину та сумісного впливу двох факторів (зелене світло + діоксидин), не виявив достовірної різниці за частотою летальних мутацій ($\chi^2 = 0,23; p > 0,05$). Застосування зеленого світла як модифікатора не призводило до зменшення мутагенного ефекту діоксидину.

Підвищення постембріональної летальності у варіанті використання діоксидину, у свою чергу, спричинило статистично значуще меншу плодючість дрозофіли порівняно з контролем за кількістю лялечок на 31,4 % ($57,0 \pm 3,8$ %), за кількістю імаго — на 38,8 % ($48,3 \pm 3,0$ %) ($t_1 = 5,6; t_2 = 6,1; p < 0,05$).

У випадку дії двох факторів (зелене світло + діоксидин) показники плодючості дрозофіл також достовірно поступалися контролю: за кількістю лялечок на 29,8 % ($58,3 \pm 4,3$ %), за кількістю імаго на 39,8 % ($50,0 \pm 3,8$ %) ($t_1 = 4,0; t_2 = 4,9; p < 0,05$) (рис. 2 і 3).

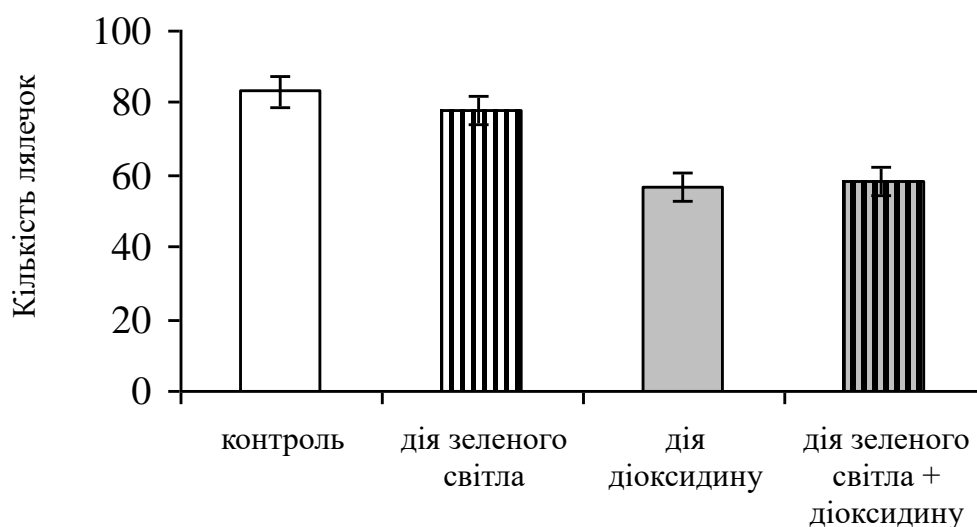


Рис. 2. Вплив зеленого світла (565 нм) в умовах хімічного мутагенезу на рівень показників плодючості *D. melanogaster*.

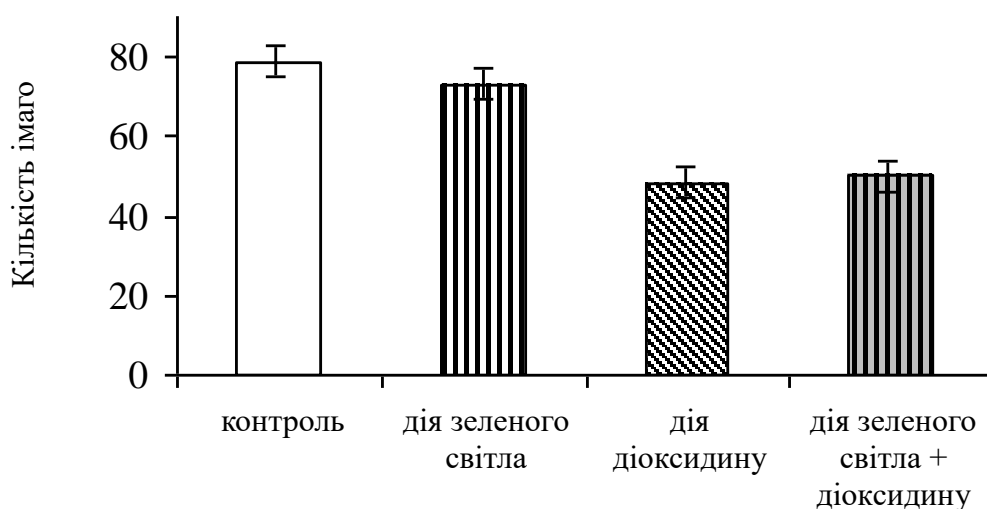


Рис. 3. Вплив зеленого світла (565 нм) в умовах хімічного мутагенезу на рівень показників плодючості в *D. melanogaster*.

Статистичний аналіз даних, одержаних у першому і третьому варіантах дослідів при впливі окремо зеленого світла та сумісному впливі двох факторів (зелене світло + діоксидин) виявив статистично значущу різницю за показниками плодючості дрозофіли як за кількістю лялечок ($t_1 = 3,2; p < 0,05$), так і кількістю імаго ($t_2 = 4,9; p < 0,05$).

Водночас порівняння даних, одержаних у другому варіанті дослідів (вплив окремо діоксидину) і третьому варіанті (дія двох факторів: зелене світло + діоксидин), не виявило різниці за показниками плодючості за кількістю лялечок ($t_1 = 0,23; p > 0,05$) та кількістю імаго ($t_2 = 0,44; p > 0,05$).

Сумісний вплив зеленого світла та циклофосфаміду. У четвертому варіанті, що передбачав вивчення впливу циклофосфаміду, виявлено статистично значуще більшу частоту домінантних летальних мутацій порівняно з контролем у 3,2 рази. Частота домінантних летальних мутацій становила $16,0 \pm 1,4\%$ ($\chi^2 = 57,4; p < 0,05$).

У п'ятому варіанті, в якому вивчали сумісний вплив двох факторів (зелене світло + циклофосфамід), встановлено статистично значуще більшу частоту домінантних летальних мутацій порівняно з контролем у 3,1 рази. Частота індукованих домінантних летальних мутацій становила $15,4 \pm 1,7\%$ ($\chi^2 = 48,2; p < 0,05$).

За результатами порівняння даних, одержаних у першому і п'ятому варіантах дослідів (при впливі окремо зеленого світла та при дії двох факторів: зелене світло + циклофосфамід), виявлено, що частота домінантних летальних мутацій виявилася достовірно меншою за умов впливу лише зеленого світла ($\chi^2 = 32,4; p < 0,05$).

Порівняльний аналіз результатів, одержаних у четвертому і п'ятому варіантах дослідів (при впливі окремо циклофосфаміду чи при впливі двох факторів: зелене світло + циклофосфамід) не виявив статистично значущої різниці за частотою індукованих мутацій ($\chi^2 = 0,08; p > 0,05$). Це свідчить про те, що використання зеленого світла як модифікатора не зумовило статистично значущого зниження частоти домінантних летальних мутацій, індукованих циклофосфамідом (рис. 4).

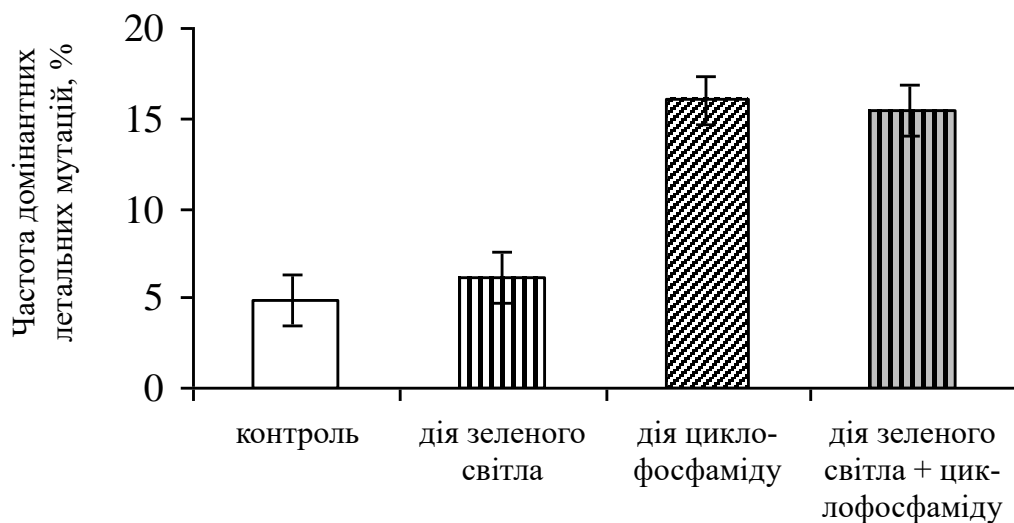


Рис. 4. Вплив зеленого світла (565 нм) на частоту домінантних летальних мутацій, індукованих циклофосфамідом у статевих клітинах *D. melanogaster*.

Підвищення постембріональної летальності у варіанті використання циклофосфаміду, своєю чергою, спричинило статистично значуще меншу плодючість дрозофіли порівняно з контролем кількістю лялечок на 22,7 %, що становило $64,2 \pm 3,2$; за кількістю імаго на 31,7 % — $53,9 \pm 3,5$ ($t_1 = 4,0; t_2 = 3,1; p < 0,05$).

Дія двох факторів (зелене світло + циклофосфамід) також спричинила зниження плодючості дрозофіли: за кількістю лялечок на 21,2 %, що становило $65,4 \pm 3,0$; за кількістю імаго на 30,6 % — $55,3 \pm 3,2$ ($t_1 = 5,3; t_2 = 3,5; p < 0,05$) (рис. 5 і 6).

Порівняльний аналіз даних, одержаних у першому і п'ятому варіантах дослідів — у варіантах дії окремо зеленого світла чи двох факторів (зелене світло + циклофосфамід), виявив статистично значущу різницю за рівнем плодючості дрозофіли як за кількістю лялечок ($t_1 = 2,4; p < 0,05$), так і за кількістю імаго ($t_2 = 3,8; p < 0,05$).

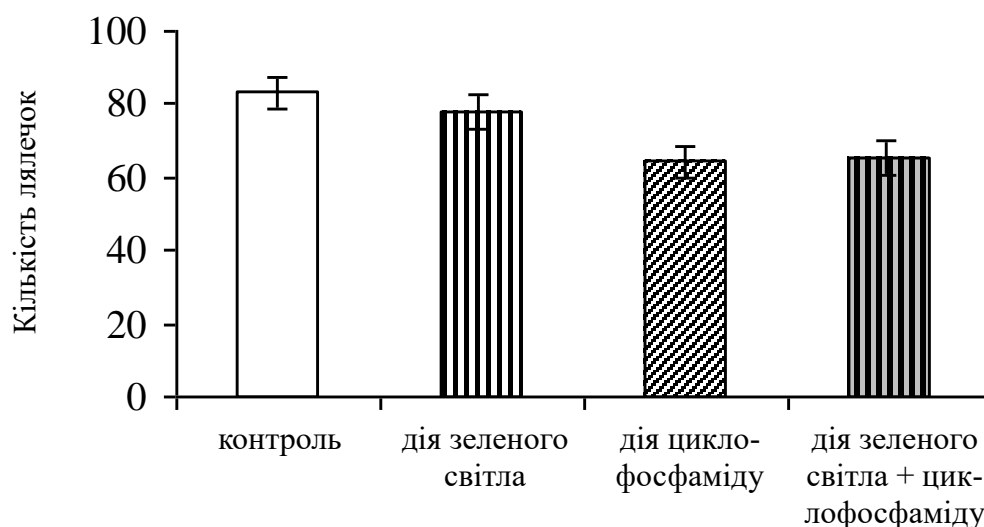


Рис. 5. Вплив зеленого світла (565 нм), в умовах хімічного мутагенезу, на рівень показників плодючості *D. melanogaster*.

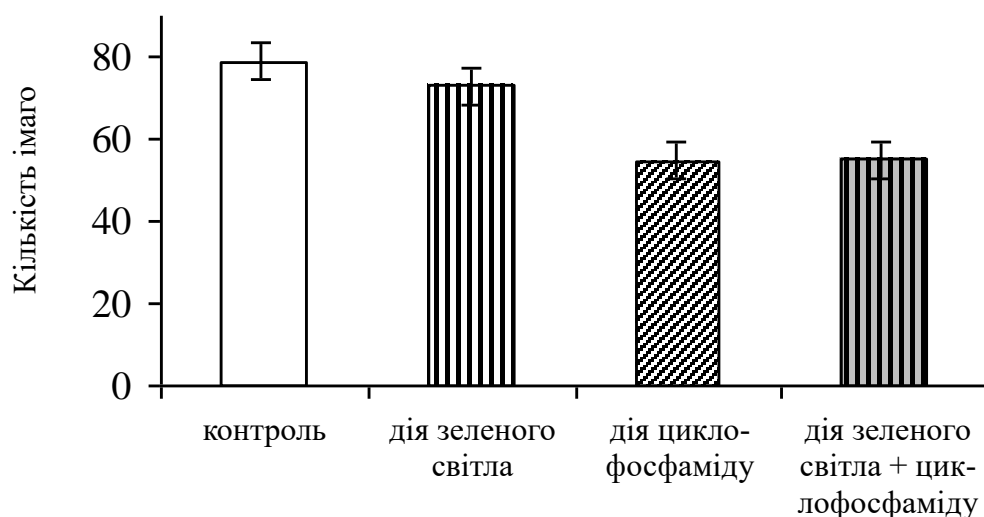


Рис. 6. Вплив зеленого світла (565 нм), в умовах хімічного мутагенезу, на рівень показників плодючості в *D. melanogaster*.

Водночас порівняння даних, одержаних у четвертому і п'ятому варіантах дослідів — у варіантах дії окремо циклофосфаміду або двох факторів (зелене світло + циклофосфамід), не виявило статистично значущої різниці за показниками плодючості дрозофіли як за кількістю лялечок ($t_1 = 0,26$; $p > 0,05$), так і кількістю імаго ($t_2 = 0,29$; $p > 0,05$).

Отже, аналіз результатів експериментів свідчить про те, що зелене світло з довжиною хвилі 565 нм у наведених вище умовах не виявляє мутагенних і комутагенних властивостей.

У раніше проведених дослідженнях (на прикладі видимого світла з різною довжиною хвилі) нами було показано залежність мутагенного ефекту, з одного боку, від специфічності самого індуктора мутагенезу (довжини хвилі), а, з другого, — від специфічності тест-об'єкта (його генотипу). Було доведено за результатами вивчення впливу як на різні етапи онтогенезу, так і на різні статі дрозофіли, що червоне (650 нм), жовте (590 нм) і зелене (565 нм) світло не індукують збільшення частоти домінантних летальних мутацій. Водночас синє світло (470 нм) у разі опромінювання самок індукувало збільшення частоти домінантних летальних мутацій і зниження показників плодючості, що свідчить про генотипову залежність його дії (Stryzhelchuk and Vorobiova, 2015).

Висновки. Доведено, що зелене світло (з довжиною хвилі 565 нм) в умовах хімічного мутагенезу не виявляє негативних модифікуючих (а саме комутагенних) властивостей — не спричиняє підвищення частоти домінуючих летальних мутацій, індукованих стандартними мутагенами (лікарськими препаратами діоксидином і циклофосфамідом) та зниження рівня плодючості, оціненого за кількістю лялечок й імаго.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Alenina, S. B. (2000)** *Effects of He-Ne laser irradiation on adaptive quantitative features expression and bioelectrical properties of cell nuclei in inbred lines and hybrids of Drosophila melanogaster* [Вплив He-Ne лазера на прояв адаптивних кількісних ознак і біоелектричних властивостей клітинних ядер у інбредних ліній і гібридів *Drosophila melanogaster*]. The dissertation thesis for the scientific degree of the candidate of biological sciences. Kharkov: V. N. Karazin Kharkov National University. [in Ukrainian].
- Lakin, G. F. (1990)** *Biometry [Biometriya]*. 4th ed. Moscow: Vysshaya shkola. ISBN: 5060004716. [in Russian].
- Navrotskaya, V. V. (2006)** *Manifestation of quantitative traits in intrastain crosses depending on parent generation keeping conditions in Drosophila melanogaster Meig. and Bombyx mori L.* [Прояв кількісних ознак при внутривидових схрещуваннях у залежності від умов утримання батьківських особин *Drosophila melanogaster* Meig. та *Bombyx mori* L.]. The dissertation thesis for the scientific degree of the candidate of biological sciences. Kharkov: V. N. Karazin Kharkov National University. [in Ukrainian].
- Strizhelchik, N. G. (2005 (2006))** 'Drosophila melanogaster Mg. (Diptera: Drosophilidae) as a test system for evaluation of drug mutagenic effect' [Drosophila melanogaster Mg. (Diptera: Drosophilidae) kak test-sistema dlya otsenki mutagenosti lekarstvennykh preparatov], *The Kharkov Entomological Society Gazette [Izvestiya Khar'kovskogo entomologicheskogo obshchestva]*, 13(1–2), pp. 164–167. URL: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/Chem_Biol/Vkhet/2005_13/164_striz.pdf. [in Russian].
- Strizhelchik, N. G. (2008 (2009))** 'Study of the influence of different concentrations of xenobiotics on the level of adaptive ability and mutagenesis in Drosophila melanogaster Mg. (Diptera: Drosophilidae) sex cells' [Doslidzhennia vplyvu riznykh kontsentratsii ksenobiotykv na riven adaptivnykh mozhlyvostei ta mutahenezu u statevykh klitynakh Drosophila melanogaster Mg. (Diptera: Drosophilidae)], *The Kharkov Entomological Society Gazette [Izvestiya Khar'kovskogo entomologicheskogo obshchestva]*, 16(1–2), pp. 73–77. URL: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/Chem_Biol/Vkhet/2008_16/73_striz.pdf. [in Ukrainian].
- Strizhelchik, N. G. (2009)** 'Influence of nonionizing radiation on different stages of Drosophila melanogaster Mg. (Diptera: Drosophilidae) ontogenesis' [Вплив неіонізуючого випромінювання на різні етапи онтогенезу Drosophila melanogaster Mg. (Diptera: Drosophilidae)], *The Kharkov Entomological Society Gazette [Izvestiya Khar'kovskogo entomologicheskogo obshchestva]*, 17(1–2), pp. 77–79. URL: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/Chem_Biol/Vkhet/2009_17/78_striz.pdf. [in Ukrainian].
- Strygelchuk, N. G. (2009)** 'Cyclophosphamide influence on the level of adaptability and mutagenesis in drosophila gametes' [Вплив циклофосфаміду на рівень адаптивних можливостей та мутагенезу у statevykh klitynakh drozofily], *Biology and Valeology [Biolohiia ta valeolohiia]*, 11, pp. 97–101. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpkhnpu_bio_2009_11_16. [in Ukrainian].
- Stryzelchik, N. G. (2010)** 'Combined effects of microwave radiation and dioxidine on the level of mutagenesis in drosophila gametes' [Sumisna diia mikrokhvylovoho vyprominiuvannia ta dioksydynu na riven mutahenezu u statevykh klitynakh drozofily], *Photobiology and Photomedicine [Fotobiolohiia ta fotomedytyna]*, 7(3–4), pp. 62–65. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ftf_2010_7_3-4_12. [in Ukrainian].
- Stryzelchik, N. G. and Vorobiova, L. I. (2015)** 'Mutagenic and modifying properties of non-ionizing radiation types (Drosophila melanogaster)' [Mutahenni ta modyfikuiuchy vlastyvoli neionizuiuchykh vydiv vyprominiuvannia (Drosophila melanogaster)]. Kharkiv: Vydavnytstvo KhNU im. V. N. Karazina. ISBN: 9789662852240. [in Ukrainian].
- Tikhomirova, M. M. (1990)** *Genetic analysis [Geneticheskii analiz]*. Leningrad: Izdatel'stvo LGU. [in Russian].
- Zijlstra, J. A., Vogel, E. W. and Braimer, D. D. (1987)** 'Pharmacological and toxicological aspects of mutagenicity research in Drosophila melanogaster', in: Hodgson, E., Bend, J. and Philpot, R. M. (ed.) *Reviews in Biochemical Toxicology, Volume 8*. Amsterdam: Elsevier, pp. 121–153.

Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна