

UDC 635.64:631.528

**SPECTRUM OF GENOTYPIC VARIABILITY IN TOMATO VARIETIES IN PLANTS AFTER REUSABLE GAMMA IRRADIATION OF SEEDS****Samovol O.P., Mogilnay O.M., Kondratenko S.I.**Institute of Vegetable and Melon Growing of National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine,  
Instytutska str., 1, vill. Seleksiine, Kharkiv rg., Ukraine, 62478E-mail: [ovoch.iob@gmail.com](mailto:ovoch.iob@gmail.com)<https://doi.org/10.32717/0131-0062-2019-65-06-22>

**The aim of the research.** Determine the rate of reaction of genomic mutabilities of plants of different directions of tomato varieties to multiple  $\gamma$ -irradiation of their seeds. **Methods.** Induced physical mutagenesis, biochemical evaluation of tomato fruit, settlement and analytical evaluation, statistical processing of the obtained results. **Results.** The level of mutation quality of quantitative and qualitative characteristics in plants of different varieties of tomato has been revealed on multiple  $\gamma$ -irradiation of their seeds. There are: 1) got plants with one-marker and multi-marker genes for their clear phenotypic manifestation; 2) plants with high indicators of economic and valuable characteristics (formation of high reproductive load of fetus, selection of mutant plants at high early maturity and low vegetation period, high productivity combined with high biochemical components in fetus) were obtained. **Conclusions.** Long-term studies on the physical mutagenesis of tomatoes have allowed to establish a differentiated rate of reaction of derivatives of mutant forms from varieties (by frequency of plants with bred fetus, early ripe plants, and also the length of the growing season). It depended on the genetic basis of the variety, the treatment option, the dose of  $\gamma$ -irradiation, and the location of the bunches on plants. Selected mutant forms with excessive levels of manifestation of valuable economic features compared with the original varieties. In addition, molds with one-marker genes were obtained - the sterility of pollen (gene *ms*), the change of vegetative organs - the potato type of the leaf (gene *c*) and the indeterminate type of the bush (gene *sp* +), the spotty color of the leaf surface (gene *m-2*), yellow color the fruit (gene *r*), the "golden" strips on the mature fetal epidermis (gene *gs*), the dirty-red color of the fetus (gene *gf*), the yellow coloration of the cotyledon (gene *wv*), etc. Also, in variety Eleonora with multimarketing genes: *r*, *j2*, *u*, *sp* +, *c*, *aw*, *gs*.

**Key words:** tomato (*L. esculentum* Mill.), induced mutagenesis, quantitative and qualitative traits, gene mutations, gene conversion \*.

**СПЕКТР ГЕНОТИПОВОЇ МІНЛИВОСТІ У РОСЛИН СОРТІВ ТОМАТА ПІСЛЯ БАГАТОРАЗОВОГО ГАММА-ОПРОМІНЮВАННЯ НАСІННЯ****Самовол О.П., Могильна О.М., Кондратенко С.І.**

Інститут овочівництва і баштанництва НААН

вул. Інститутська, 1, сел. Селекційне, Харківська обл., Україна, 62478

E-mail: [ovoch.iob@gmail.com](mailto:ovoch.iob@gmail.com)

**Мета.** Виявити норму реакції мутабільності генома рослин різного напрямку сортів томата на багаторазове  $\gamma$ -опромінювання їх насіння. **Методи.** Індукованого фізичного мутагенезу, біохімічної оцінки плодів томата, розрахунково-аналітичної оцінки, статистичної обробки одержаних результатів. **Результати.** Виявлений рівень норми реакції мутабільності якісних і кількісних ознак у рослин різних сортів томата на багаторазове  $\gamma$ -опромінювання їх насіння, а саме: 1) одержання рослин з одномаркерними і багатомаркерними генами за чітким їх фенотиповим проявом; 2) одержання рослин з високими показниками цінних господарських ознак (формування високого репродуктивного навантаження плодів, добір мутантних рослин за високою ранньостиглістю та низькою тривалістю вегетаційного періоду, високою продуктивністю в поєднанні з високими показниками біохімічних компонентів у плодах). **Висновки.** Багаторічні дослідження з фізичного мутагенезу томата дозволили встановити диференційовану норму реакції похідних мутантних форм від сортів (за часткою рослин із зав'язаними плодами, ранньостиглих рослин, а також до-

вжини вегетаційного періоду), яка залежить від генетичної основи сорту, варіанта обробки, дози  $\gamma$ -опромінювання та порядку розташування китиць на рослині. Відібрані мутантні форми були з явним перевищенням рівня прояву цінних господарських ознак порівняно з вихідними сортами. Крім того, одержано форми з одномаркерними генами – стерильність пилку (ген *ms*), зміна вегетативних органів – картопляний тип листка (ген *c*) та індетермінантний тип куща (ген *sp* +), крапчасте забарвлення поверхні листка (ген *m-2*), жовте забарвлення плоду (ген *r*), “золоті” смужки на епідермісі зрілого плоду (ген *gs*), брудно-червоне забарвлення плоду (ген *gf*), жовте забарвлення сім’ядоль (ген *wv*) та ін., а також з багатомаркерними генами: *r, j<sup>2</sup>, u, sp+, c, aw, gs* у сорту Елеонора.

**Ключові слова:** томат (*L. esculentum* Mill.), індукований мутагенез, кількісні та якісні ознаки, генні мутації, конверсія гена\*.

**Актуальність.** У зв’язку з відкриттям ядерної енергії та створенням значної кількості джерел іонізуючих випромінювань (рентгєнівські промені,  $\gamma$ -кванти,  $\alpha$ - і  $\beta$ -промені, а також нейтрони), широко застосовуваних у медицині, сільському господарстві та техніці, проблема впливу радіації на процес мутації також набула великого практичного значення. Перевага використання мутацій у селекції полягає в тому, що з їх допомогою можна значно розширити адаптивний потенціал доступного селекціонеру генофонду. Як стверджують ряд вчених (Grube R.C. et al., 2003; Ohki S. et al., 2012; Sarizam S. et al., 2017), індуковані мутанти можуть допомогти селекціонеру в тих випадках, коли у відомому вже різноманітні генофонду культурних рослин відсутні форми з деякими необхідними цінними господарськими ознаками. Слід відзначити, що за мутаційної селекції (обробка насіння мутагенними факторами, особливо  $\gamma$ -опромінюванням) найбільш ефективний добір генотипів з якісними маркерними та кількісними ознаками можна здійснити в M2, хоч деякі мутації виявляються і в M3, а також в більш пізніх поколіннях.

**Аналіз останніх досліджень.** За останнє десятиліття світовий попит на виробництво томатів значно зріс завдяки розмаїттю використання цієї продукції як у вигляді свіжих плодів, так і у якості сировини для різних видів ферментованої переробки овочів. Зростаючий попит на томати вимагає надходження на ринок поживних, більш продуктивних і високоадаптивних сортів різних напрямків використання. Особливого значення набувають сорти з підвищеним вмістом у плодах біологічно цінних компонентів. Вважається, що найбільш ефективним підходом, який дозволяє прискореними темпами реалізувати потрібні моделі сортів на ринку є використання у селекційному процесі методу індукованого мутагенезу.

\* Конверсія гена – перехід домінантного гена до рецесивного стану і, навпаки. Деякі дослідники віддають перевагу застосовувати до нього термін *трансмутація*. Було чітко встановлено для прокаріотів (нейроспора, дріжджові гриби, бактерії), а також спостерігається і у еукаріотів (переважно у квіткових рослин) (Müntzing A., 1967).

Зарубіжна селекція томата вже досить тривалий час застосовує мутагени як фізичної, так і хімічної природи. Наприклад, групою дослідників з Малайзії підтверджено високу ефективність хімічної сполуки етилметансульфонату (ЕМС) як хімічного мутагена, який індукував хромосомну аберацію, що спонукало істотні відмінності у рослин культурного томата (Ahmed M.A., Chakraborty N., Tabana Y., et al., 2017). Група індійських вчених (Laskar R.A., Chaudhary C., Khan S. et al., 2016) підтвердила високу мутагенну силу комбінованого застосування двох хімічних мутагенів – етилметансульфонату (ЕМС) і гідразингідрату (ГГ) на томаті.

Результати проведених експериментів в індійському Центрі атомних досліджень (BARC) міста Мумбаї підтвердили високу ефективність використання фізичного мутагену (гамма-випромінювання) у дозах 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 і 50 кР при обробці насіння томата. Установлено, що такі кількісні ознаки рослин томата, як схожість насіння, виживання рослин, кількість листків і пагонів та висота рослин проявили тенденцію до зменшення середнього значення зі збільшенням інтенсивності гамма-випромінювання (Vishnu P.B., Rakesh C.V., 2018).

З метою розроблення способу, який продовжив би термін зберігання томатів, групою бразильських учених було використано опромінювання плодів томата радіоактивними ізотопами кобальту ( $^{60}\text{Co}$ ) у дозах 1,0, 1,5 і 2 кГр. У дослідженні використали три партії по 100 плодів в кожній, 25 з яких – контрольна група, а 75 опромінювали однією з трьох зазначених доз. Оцінка терміну придатності томатів до і після використання опромінювання була проведена шляхом візуального спостереження за розпадом плодів. Після закінчення терміну експерименту було відзначено, що найкращий ефект проявився у другій партії, в якій при застосуванні дози 1,0 кГр відбувалося збільшення терміну зберігання

на 15 діб порівно з контрольним варіантом (термін зберігання у якого склав 40 діб). При застосуванні дози 1,5 кГр тривалість задовільного стану плодів становила 70 діб, а при дозі 2,0 кГр вона складала 106 діб, починаючи з початкової дати постановки досліду (Vicalvi M. C., Solidonio E. G., Melo P. et al., 2013).

Для затримання періоду дозрівання і, отже, продовження терміну зберігання врожаю двох сортів томата (Amani і Beto86), їх плоди на стадії ледь помітного “побуріння” піддавали впливу гамма-променів у дозах 0,25, 0,50 і 1,0 кГр. Обробка на зазначеній стадії та рівнях доз істотно зменшила ( $p \leq 0,05$ ) втрату їх маси, частоту дихання і затримку розм’якшення в обох сортів. Тоді як максимальний рівень вмісту біологічно цінних речовин в плодах (вітаміну С, розчинних сухих речовин і загального цукру) був досягнутий за рахунок більш високих доз гамма-опромінення порівняно з неопроміненими плодами (Adam M.Y. et al., 2014).

У запропонованій нами публікації читач ознайомиться з додатковими потенційними можливостями застосування гамма-опромінювання в напрямку ініційованої появи у рослин томата генетичних змін з яскравим фенотиповим проявом генів, а також створення мутантних ліній з реконструйованими геномами, здатними до скорочення довжини вегетаційного періоду та формуванню високої потенційної продуктивності і якості плодів.

**Мета досліджень** – виявити норму реакції мутабільності генома рослин різного напрямку сортів томата на багаторазове  $\gamma$ -опромінювання їх насіння.

**Матеріал і методи досліджень.** З метою розширення спектра генотипової мінливості томата (*L. esculentum* Mill.) у 2011 році на експериментальній базі Інституту овочівництва і баштанництва НААН був розпочатий дослід з фізичного мутагенезу. У якості об’єкта досліджень використовували сорти томата різного напрямку – придатні до механізованого збирання врожаю (І група сортів) – Легінь, Ріо-Гранде, Голда, Ріо-Фуєго, Дорал, Інгулецький-1 та універсального й салатного використання (ІІ група сортів) – Карась, Чайка, Іришка, Елеонора, Алтай, Малинове Віканте, Клондайк. Для отримання мутантних зразків за якісними та кількісними ознаками проводили передпосівну обробку повітряно-сухого насіння  $\gamma$ -опромінюванням дозами 60 і 130 Гр протягом чотирьох, п’яти років в установці закритого типу “Дослідник” (180 Р/хв). Контролем слугувало насіння, яке не зазнало  $\gamma$ -опромінювання. Ідентифікацію мутантних зра-

зків томата за особливостями прояву якісних і кількісних ознак проводили в умовах скляної теплиці. Досліди закладали за стандартними методиками, які викладено у науково-методичних виданнях: “Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві” [Bondarenko G.L., Yakovenko K.I. (Eds), 2001], “Методические указания по селекции сортов и гибридов томата для открытого и защищенного грунта”, (VASHNII, 1986), “Методика и техника селекционной работы с томатом”, (Kravchenko V.A., Prilipka O.V., 2001). Статистичну обробку даних проводили згідно з “Методикой полевого опыта”, (Dospikhov B.A., 1985).

Аналіз фенотипу мутантних форм томата дозволив виявити у них відмінність від рослин вихідних сортів за якісними ознаками у напрямі зміни їх фізіологічного і морфологічного стану на рівні прояву моногенних маркерних генів, за кількісними ознаками – у напрямі скорочування довжини вегетаційного періоду, підвищення врожайності та якісними – вмістом в плодах біохімічних показників.

#### Результати досліджень.

**1. Реакція мутабільності якісних ознак у рослин сортів томата, а саме: одержання рослин з маркерними генами.** У результаті індукованого мутагенезу у рослин вище наведених сортів було виявлено різну норму реакції мутабільності якісних ознак на багаторазове  $\gamma$ -опромінювання їх насіння. Так, наприклад, в отриманих нами мутантних рослин простежується чітка проява фенотипової зміни функції репродуктивних органів – надмірне збільшення кількості квіток у суцвітті (ген *mult*, рис. 1), ниткоподібні листки (ген *w*, рис. 2), зовнішнє і внутрішнє забарвлення плоду (гени *r*, *r+* і *gf*, рис. 3), зміна типу листка на картопляний (ген *c*) і забарвлення його поверхні (ген *m-2*, що контролює прояв хлоротичної крапчастості) та форми куща – детермінантний, індетермінантний (гени *sp* і *sp+*, рис. 4, 5), “золоті” смужки на епідермісі зрілого плоду (ген *gs*, рис. 6), жовті сім’ядолі (ген *wv*) і ін. (табл. 1).

Слід відмітити, що сорту Елеонора, порівняно з іншими сортами, властива висока мутабільна схильність до дії  $\gamma$ -опромінювання дозою 60 Гр, що підтверджується додатковими нашими даними (Samovol A.P., Kornienko S.I., Nikolov O.T. et al., 2015). Наприклад, у межах однієї або групи рослин сорту Елеонора в одному випадку спостерігали фенотипові зміни окремих морфологічних ознак, контрольованих маркерними генами з різним поєднанням їх прояву в





Рисунок 1. Надмірне збільшення кількості квіток у суцвітті (ген *mult*) мутантних рослин з карликовим габітусом (ген *d*), похідних від сортів томата Ріо-Фуего і Клондайк, придатних до механізованого збирання врожаю



Рисунок 2. Ниткоподібні листки (ген *w*) у мутантних рослин, похідних від сортів Елеонора і Легінь, різних напрямків використання



Рисунок 3. Конверсія генів  $r^+$  на *gf* і  $r^+$  на *r* (зміна червоного забарвлення плоду на брудно-червону і на жовту) у мутантних рослин, похідних від сортів Легінь і Інгулецький-1, придатних до механізованого збирання врожаю





**Рисунок 4.** Конверсія генів: *sp* (детермінантний габітус) на *sp*<sup>+</sup> (індетермінантний) і *c*<sup>+</sup> (звичайна розсічена форма листка) на *c* (картопляний тип листка), *r*<sup>+</sup> на *r* (зміна червоного забарвлення плоду на жовту) у мутантних рослин, похідних від сорту Елеонора, придатного до свіжого споживання і переробки



**Рисунок 5.** Прояв гену *c* (картопляний тип листка) і гену *m-2* (крапчастість листка) у мутантних рослин карликового типу (ген *d*) сорту Чайка



**Рисунок 6.** Забарвлення епідермісу плоду (ген *gs* – радіальні, темно-зелені смуги у недозрілих плодів, золотисті – у зрілих) у мутантних рослин, похідних від сорту Елеонора

**Таблиця 1** – Характеристика мутантних рослин томата з фенотиповим порушенням їх розвитку в онтогенезі (2012–2016 рр.)

№ зразка	Сорт (рік γ-обробки насіння; доза)	Пилок (Ф./С.), % **	Виявлені відхилення від типового розвитку (у т.ч. наявність генів) ***
66.	Елеонора (2012-16; 60 Гр)	100 / 0	Рослини з наступними генами: <i>c,d</i> ; <i>c</i> ; <i>m-2</i> , <i>c</i> ; <i>m-2</i> , <i>C</i> ; конверсія гена <i>sp</i> на <i>sp+</i> ; ген <i>gs</i> – “золоті” смужки на епідермісі зрілого плоду
67.	Елеонора (2012-16; 60 Гр)	100 / 0	3 10 рослин дві мають 3 гена – <i>wv</i> , <i>c</i> , <i>m-2</i> ; 8 рослин мають 2 гена – <i>c</i> , <i>m-2</i>
68.	Елеонора (2012-16; 60 Гр)	100 / 0	1 рослина має гени <i>c</i> , <i>d</i> ; 1 рослина має гени <i>m-2</i> , <i>c</i> ; 1 рослина має ген <i>c</i> та конверсію гена <i>sp</i> на <i>sp+</i>
69.	Елеонора (2012-16; 60 Гр)	100 / 0	У 3 рослин є ген <i>c</i> , зав’язь відсутня (можливо стерильні яйцеклітини)
104.	Елеонора (2012, 2013, 2015; 60 Гр)	100 / 0	У 6 рослин зав’язь відсутня (можливо стерильні яйцеклітини)
47.	Іришка (2012, 2013, 2014-16; 60 Гр)	0 / 100	1 рослина має ген <i>ms</i> ) – зав’язався один плід без насіння, лінія стабільно зберігає стерильність
70.	Малинове Віканте (2012, 2015, 2016; 60 Гр)	30 / 70	1 рослина має ниткоподібні листки (ген <i>w</i> ), зав’язування плодів на першій китиці відсутнє та присуття чоловічої стерильності (ген <i>ms</i> )
79.	Ріо-Гранде (2011, 2012*, 2014-16; 60 Гр)	20 / 80	1 рослина має ген <i>ms</i> , квітки великі, плоди нетипові, насіння відсутнє
112.	Ріо-Гранде (2011, 2013, 2014; 60 Гр)	10 / 90	1 рослина має ген <i>ms</i> , плоди нетипові, насіння відсутнє
82.	Дорал (2011, 2012*, 2014-16; 60 Гр)	15 / 85	1 рослина має ген <i>ms</i> – зав’язь відсутня на перших 2-х китицях
90.	Легінь (2011, 2012*, 2014, 2016; 130 Гр)	30 / 70	1 рослина має ген <i>ms</i> – зав’язь відсутня на першій китиці; конверсія гена- <i>r+</i> на <i>gf</i> .
91.	Інгулецький-1 (2011, 2012*, 2014-16; 130 Гр)	0 / 100	1 рослина має ген <i>ms</i> – відсутні пилок та зав’язування плодів, стерильність не стабільна
92 р.4.	Інгулецький-1 (2011, 2012*, 2014-16; 130 Гр)	10 / 90	1 рослина має ген <i>ms</i> – зав’язь відсутня на перших 3-х китицях
92 р.12	Інгулецький-1 (2011, 2012*, 2014-16; 130 Гр)	5 / 95	1 рослина має ген <i>ms</i> – зав’язь відсутня на перших 3-х китицях
<p>Примітки:  2012* (у цій таблиці та наступних означає, що насіння сортів томата обробляли γ-опромінуванням, але в указаний рік не висівали, а зберігали з метою підвищення мутабельності рослин);  ** – (Ф./С.) – фертильність / стерильність пилку;  *** – символи генів, які контролюють наступні ознаки – <i>c</i> (картопляний тип листка), <i>d</i> (карликовий тип куща), <i>m-2</i> (крапчастість листка), <i>C</i> (звичайний тип листка), <i>sp</i> (детермінантний тип куща), <i>sp+</i> (індетермінантний тип куща), <i>wv</i> (жовті сім’ядолі), конверсія гена <i>r+</i> на <i>gf</i> (червоне забарвлення плоду на брудно-червоне).</p>			

онтогенезі. В іншому – траплялися рослини з повністю фертильним пилом, однак упродовж усього онтогенезу зав’язування плодів не спостерігали. Можна тільки припустити, що це пов’язано зі стерильністю яйцеклітин.

У дібраних рослин з інших сортів, у т. ч. придатних до механізованого збирання врожаю, проявився різний відсоток стерильності пилку, яка

досить часто супроводжувалася відхиленням від типового розвитку вегетативних органів в онтогенезі. Це стосується рослин наступних сортів: Малинове Віканте, Ріо-Гранде, Дорал, Легінь й Інгулецький-1 (див. табл. 1).

Для практичної селекції (ведення гібридного насінництва на стерильній основі) найбільшу значимість має створена на основі індукованого

мутагенезу лінія (добір в межах сортопопуляції Іришка), у якої стабільно підтримується стерильність пилку на 100 % рівні. З даною лінією продовжується селекційна робота у напрямі збільшення маси плоду. Окрім того, 3–5-кратне  $\gamma$ -опромінювання насіння сортів регіональної селекції дозволило прискорити створення багатомаркерних мутантних форм, які також можна з успіхом використовувати у селекційно-генетичних дослідженнях. На підставі проведеного комплексу досліджень з фізичного мутагенезу томата у 2018 році було розроблено спосіб отримання багатомаркерних мутантних форм на єдиній генетичній основі сорту Елеонора, реєстраційній № 131538 на корисну модель (Samovol O.P., Kondratenko S.I., Gorobchenko O.O. et al., 2019).

## **2. Реакція мутабільності кількісних ознак у рослин сортів томата за різним напрямом їх використання у виробництві.**

*2.1. Формування репродуктивного навантаження на рівні зав'язування плодів томата.* Для виявлення норми реакції генетичної основи рослин сортів зарубіжної та регіональної селекції в якості першого критерію рівня індивідуальної мутабільності використовували такий показник, як формування репродуктивного навантаження (частка рослин зі сформованими плодами) на першій, другій і третій китицях. Контролем слугували рослини тих же сортів, у яких насіння зазначеним мутагенним чинником не обробляли. Дослідження проводилися протягом 2015–2017 рр.

У цілому нами встановлено норму реакції вивчених сортів на  $\gamma$ -обробку насіння дозою 60 Гр, яка залежала від генетичної основи сорту, років обробки вказаною дозою та порядку розташування китиць на рослині. Звернемося до конкретних даних з частки рослин зі сформованими плодами. За усередненими трирічними даними встановлено, що на першій китиці за вказаним критерієм мінімальний ефект на рівні 10 % (відносно контролю) зафіксовано тільки у сорту Голда, який належить до I групи сортів. Стосовно другої китиці, у зазначеного сорту ефект сформованого репродуктивного навантаження підвищився порівняно з контролем на 20 %. Підвищену мутабільність порівняно з контролем проявив також сорт Ріо-Фуєго на рівні 33 %. Після зняття інформації щодо репродуктивного навантаження у рослин на третій китиці виявлено позитивний ефект у більшій кількості сортів тієї ж групи. Наприклад, у

сорту Дорал ліміти мінливості за репродуктивним навантаженням проявилися на рівні 30 % (за 10 % у контрольному варіанті). У рослин сорту Ріо-Фуєго – на рівні 50 % за відсутністю рослин зі сформованими плодами в контролі. У сорту Ріо-Гранде – 35 % (контроль – 0 %). Зберігав позитивний ефект і сорт Голда, рослини якого сформували плоди на рівні 32 % (контроль – 0 %). Підвищення дози  $\gamma$ -опромінювання до 130 Гр у більшості варіантів ситуації не змінило. Ефект проявився у сорту Інгулецький-1, який становив 30 %. У сортів Легінь, Ріо-Фуєго і Дорал формування репродуктивного навантаження на першій китиці було на рівні контролю (частка рослин з плодами становила 100 %). На другій і третій китицях після  $\gamma$ -опромінювання насіння дозою 130 Гр найбільший ефект мутабільності рослин зафіксовано у сортів Легінь й Інгулецький-1 на рівні 83–55 % і 52–28 % відповідно.

Стосовно норми реакції рослин сортів універсального та салатного використання на  $\gamma$ -опромінювання (60 Гр) і на певну кількість обробок насіння трьох варіантів, позитивного ефекту на першій китиці порівняно з контрольним варіантом практично не було. Тоді як максимально високий ефект норми реакції на зазначену дозу проявився у сорту Чайка. Причому у даного сорту із плодами на другій і третій китицях становив 90–45 %, що істотно превалювало над контролем (25 %). За підвищеної дози  $\gamma$ -опромінювання (130 Гр) позитивний ефект зафіксовано також і у сорту Клондайк на першій китиці 65 %, на другій 50 % і на третій 67 % порівняно з контролем (26 %, 26 і 7 % відповідно).

*2.2. Частка мутантних рослин томата за ознакою ранньостиглості та тривалості вегетаційного періоду.* Протягом 2015–2017 рр. було проведено визначення ранньостиглості, а також тривалості вегетаційного періоду у популяціях рослин мутантних форм томата. Одержані дані, які наведено у табл. 2, свідчать, що найбільший вихід ранньостиглих рослин відзначено у мутантних форм, похідних від сорту Дорал (73,61 % проти 49,78 % у вихідної форми). Тенденція до збільшення виходу мутантних рослин з проявом ознаки ранньостиглості також відмічено у мутантних форм, похідних від сорту Легінь (66,78 % проти 69,83 % у вихідної форми) і сорту Чайка (82,5 % проти 87,78 % у вихідної форми).

**Таблиця 2** – Вплив обробки насіння сортів томата  $\gamma$ -опромінюванням дозою 60 Гр на вихід ранньостиглих похідних мутантних форм рослин, виражений у відсотках (%)

Сорт	Варіант досліджу	Середньостатистичні значення рівня прояву кількісної ознаки за роками досліджень			Статистичні показники				
		2015 р.	2016 р.	2017 р.	$X_{med} \pm m_x$	$\sigma$	$V, \%$	$Lim = X_{min} \div X_{max}$	$A_m = X_{max} - X_{min}$
Сорти, придатні для механізованого збирання врожаю									
Легінь	контроль	20,67	80,50	99,17	66,78 $\pm$ 8,13	34,50	51,67	17,0 $\div$ 100,0	83,0
	дослід	46,83	71,33	91,33	69,83 $\pm$ 7,03	29,81	42,68	20,0 $\div$ 100,0	80,0
Ріо-Гранде	контроль	73,17	98,0	98,17	89,78 $\pm$ 2,87	12,16	13,55	71,0 $\div$ 100,0	29,0
	дослід	61,0	95,67	95,0	83,89 $\pm$ 5,17	21,95	26,17	20,0 $\div$ 100,0	80,0
Ріо-Фуєго	контроль	48,83	98,83	98,67	82,11 $\pm$ 5,72	24,25	29,54	47,0 $\div$ 100,0	53,0
	дослід	61,67	81,67	95,0	79,44 $\pm$ 4,54	19,24	24,22	40,0 $\div$ 100,0	60,0
Дорал	контроль	3,33	49,0	97,0	49,78 $\pm$ 9,30	39,46	79,28	1,0 $\div$ 100,0	99,0
	дослід	50,83	78,50	91,50	73,61 $\pm$ 5,22	22,14	30,07	33,0 $\div$ 100,0	67,0
Сорти, рекомендовані до свіжого споживання та переробки									
Чайка	контроль	49,50	99,0	99,0	82,50 $\pm$ 5,67	24,04	29,14	47,0 $\div$ 100,0	53,0
	дослід	65,83	99,33	98,17	87,78 $\pm$ 3,91	16,59	18,90	60,0 $\div$ 100,0	40,0
Іришка	контроль	98,83	99,0	99,0	98,94 $\pm$ 0,27	1,16	1,17	97,0 $\div$ 100,0	3,0
	дослід	95,17	96,67	98,67	96,83 $\pm$ 0,82	3,47	3,58	90,0 $\div$ 100,0	10,0
Елеонора	контроль	39,17	59,17	98,33	65,56 $\pm$ 5,97	25,34	38,65	36,0 $\div$ 100,0	64,0
	дослід	36,67	71,33	84,0	64,0 $\pm$ 5,31	22,51	35,17	20,0 $\div$ 87,0	67,0

Слід відмітити, що рівень прояву ознаки ранньостиглості для усієї вибірки досліджених зразків томата варіював в межах 49,78...98,94 %. За статистичним показником стабільності прояву даної ознаки – коефіцієнтом варіації ( $V$ ) уся вибірка варіювала в межах  $V = 1,17...79,28 \%$ , а за статистичним показником – середньостатистичне відхилення ( $\sigma$ ) уся вибірка варіювала в межах  $\sigma = 1,16...39,46$ . Найбільш стабільними за проявом даної ознаки виділилися сорт Іришка та його мутантна форма ( $\sigma = 1,16...3,47$ ,  $V = 1,17...3,58 \%$ ). Самою нестабільною виявилася вихідна форма – сорт Дорал ( $\sigma = 39,46$ ,  $V = 79,28 \%$ ). Відносно високою нестабільністю прояву даної ознаки відзначилися сорт Легінь і його похідна мутантна форма ( $\sigma = 29,81...34,50$ ,  $V = 42,68...51,67 \%$ ) та сорт Елеонора і його похідна мутантна форма ( $\sigma = 22,51...25,34$ ,  $V = 35,65...38,65 \%$ ) (див. табл. 2).

У дослідженнях також було проведено порівняльний аналіз тривалості вегетаційного періоду між мутантними формами та вихідними сортами. При цьому враховувалася також стабільність прояву даної ознаки за статистичними показниками – коефіцієнтом варіації ( $V$ ) і середньостати-

стичним відхиленням ( $\sigma$ ). Усереднені трирічні дані за роками досліджень (2015–2017 рр.) щодо прояву ознаки “Тривалість вегетаційного періоду” зведені у таблиці 3.

Як свідчать отримані дані, серед усіх сортів різних напрямків використання були виділені мутантні форми з більш скороченою тривалістю вегетаційного періоду. При цьому усі мутантні зразки статистично достовірно мали більш скорочений вегетаційний період з різницею від 2,57 до 13,91 доби порівняно з вихідними формами. Найбільшу відмінність між тривалістю вегетаційного періоду відмічено у сорту Дорал та похідної від нього мутантної форми. Найменша між сортом Ріо-Гранде та похідної від нього мутантної форми. Уся досліджена вибірка вивчених зразків томата за рівнем прояву ознаки “Тривалість вегетаційного періоду” коливалася в межах від 82,74 до 111,15 діб (див. табл. 3). При цьому саме мутантні зразки варіювали за даною ознакою від 82,74 діб (мутантна форма похідна від сорту Іришка) до 101,59 діб (мутантна форма похідна від сорту Легінь).



**Таблиця 3** – Вплив обробки насіння сортів томата  $\gamma$ -опромінюванням дозою 60 Гр на тривалість вегетаційного періоду похідних мутантних форм рослин, діб \*

Сорт	Варіант досліджу	Середньостатистичні значення рівня прояву кількісної ознаки за роками досліджень			Статистичні показники				
		2015 р.	2016 р.	2017 р.	$X_{med} \pm m_x$	$\sigma$	V, %	$Lim = X_{min} \div X_{max}$	$A_m = X_{max} - X_{min}$
Сорти, придатні для механізованого збирання врожаю									
Легінь	контроль	112,67	108,05	106,54	$109,08 \pm 0,89$	3,80	3,48	$103,18 \div 114,0$	10,82
	дослід	107,17	102,11	95,48	$101,59 \pm 1,78$	7,56	7,44	$87,97 \div 110,0$	22,03
Ріо-Гранде	контроль	104,33	99,95	101,01	$101,76 \pm 0,85$	3,63	3,56	$94,43 \div 106,0$	11,57
	дослід	102,83	98,06	96,69	$99,19 \pm 0,84$	3,58	3,61	$93,87 \div 106,0$	12,13
Ріо-Фуего	контроль	103,50	98,35	97,95	$99,93 \pm 0,83$	3,53	3,54	$94,20 \div 106,0$	11,80
	дослід	99,83	94,65	96,64	$97,04 \pm 1,48$	6,29	6,48	$84,63 \div 107,0$	22,37
Дорал	контроль	112,50	106,29	101,88	$106,89 \pm 1,38$	5,85	5,47	$95,86 \div 114,0$	18,14
	дослід	99,50	91,61	87,85	$92,98 \pm 1,77$	7,53	8,10	$83,82 \div 109,0$	25,18
Сорти, рекомендовані до свіжого споживання та переробки									
Чайка	контроль	107,33	102,23	103,79	$104,45 \pm 0,87$	3,70	3,54	$96,62 \div 109,0$	12,38
	дослід	103,83	99,92	99,31	$101,02 \pm 0,97$	4,13	4,09	$92,51 \div 108,0$	15,49
Іришка	контроль	90,0	86,97	87,96	$88,31 \pm 0,67$	2,84	3,21	$81,39 \div 92,0$	10,61
	дослід	85,33	81,26	81,63	$82,74 \pm 0,61$	2,58	3,12	$77,93 \div 87,0$	9,07
Елеонора	контроль	114,33	110,70	108,42	$111,15 \pm 0,87$	3,68	3,31	$103,01 \div 116,0$	12,99
	дослід	95,67	91,23	92,98	$93,29 \pm 0,70$	2,97	3,18	$87,48 \div 98,0$	10,52
<p>Примітка. * – За трирічними даними (2015–2017 рр.) також було встановлено, що збільшення дози <math>\gamma</math>-опромінювання до 130 Гр ініціює істотне підвищення виходу ранньостиглих мутантних форм рослин у сортів Легінь (85,44 % проти 65,72 % у вихідної форми), Ріо-Фуего (82,50 % проти 78,89 % у вихідної форми), Дорал (76,11 % проти 49,78 % у вихідної форми), а також узгоджується з напрямом зниження тривалості вегетаційного періоду у мутантних зразків сорту Легінь (97,85 діб проти 107,77 діб у вихідної форми), сорту Ріо-Фуего (90,66 діб проти 101,26 доби), сорту Дорал (101,17 доби проти 108,73 діб)</p>									

За статистичним показником стабільності прояву даної ознаки – коефіцієнтом варіації (V) уся вибірка варіювала в межах  $V = 3,12 \dots 8,10$  %, а за показником – середньостатистичне відхилення ( $\sigma$ ) уся вибірка варіювала в межах  $\sigma = 2,97 \dots 7,56$ . Тобто зразки томата (як вихідні форми, так і мутантні генотипи) мали досить стабільний прояв ознаки “Тривалість вегетаційного періоду” за роками досліджень (див. табл. 3).

2.3. *Формування компонентів високої потенційної продуктивності та біохімічного складу плодів у дібраних рослин із сортових популяцій, насіння яких обробляли  $\gamma$ -опромінюванням. Серед дібраних рослин сортів регіональної та за-*

рубіжної селекції томата за більшістю суто кількісних і якісних (цінних господарських) ознак простежується очевидне превалювання над прийнятими значеннями за такими ж ознаками у контрольних варіантах. У більшості з них виявлено селекційно важливу узгодженість компонентів продуктивності, формується більша кількість та велика маса плодів.

Слід відмітити, що разом із генними мутаціями під дією мутагенів можуть проявлятися зміни структури хромосом, їх кількість, затримка або стимуляція росту рослин та ін. Однак в цілому це важливо при рішенні задач суто фундаментальних досліджень. Тоді як з точки зору практичної селекції найбільший інтерес пред-

ставляють інші зміни. Стосуються вони, насамперед, формування рослинами високої потенційної продуктивності і якості вмісту плодів як відповідної реакції на багаторазові (протягом 3–4 років) впливи  $\gamma$ -опромінювання на насіння сортів регіональної та зарубіжної селекції. Для виявлення норми реакції дібраних рослин серед сортів, придатних до механізованого збирання врожаю та універсального й салатного використання, після дії  $\gamma$ -опромінюванням ( дози 60 і 130 Гр) використовували такі показники, як: кількість плодів на одній рослині, середня маса плоду, продуктивність, вміст у плодах біологічно цінних компонентів. За контроль використовували дані аналогічних ознак у рослин сортів, насіння яких  $\gamma$ -опромінюванням не обробляли.

У результаті проведених доборів кращих мутантних зразків томата, одержаних від сортів зарубіжної і регіональної селекції у 2016–2018 роках, було проведено вивчення особливостей прояву їх цінних господарських ознак. Дані щодо прояву кількісних ознак, які визначають структуру урожайності мутантних рослин томата, похідних від сортів, придатних для свіжого споживання та переробки, зведені у табл. 4. Усього досліджено 6 пар зразків томата, які склалися з одного мутантного добору та сорту, від якого він був похідний. Для всієї дослідженої вибірки зразків розмах варіювання ознаки “Маса плоду” за усередненими даними був в межах 25,74–204,33 г з амплітудою варіювання  $A_m = 178,59$  г.

Найбільший рівень даної ознаки мав мутантний зразок Клондайк (роки обробки: 2012–2014, 2015; 130 Гр), найменший – Іришка (2012, 2013, 2015, 2016; 60 Гр). Статистично достовірне зменшення маси плодів спостерігалось у мутантних зразків, похідних від сортів Карась і Елеонора на 22,71 % і 16,79 %, відповідно. Аналогічна тенденція спостерігалась у мутантного зразка, похідного від сорту Іришка, але в межах похибки досліду даного сорту (див. табл. 4). Статистично достовірне перевищення маси плоду спостерігали у мутантних зразків, похідних від сортів Чайка, Малинове Віканте і Клондайк на 31,72 %, 20,76 % і 3,22 %, відповідно.

Практично всі досліджені мутантні зразки статистично достовірно перевищили вихідні

сорта за рівнем прояву ознаки “Кількість плодів на одній рослині” на 18,13–93,10 %. Найбільше статистично достовірне перевищення мав мутантний зразок Чайка (2013–2016; 60 Гр) над вихідним сортом, найменше – Іришка (2012, 2013, 2015, 2016; 60 Гр). Для всієї дослідженої вибірки зразків розмах варіювання даної ознаки за усередненими даними 2016–2018 років був в межах 8,38–39,88 шт. з амплітудою варіювання  $A_m = 31,50$  шт. Найбільший рівень даної ознаки мав мутантний зразок Іришка (2012, 2013, 2015, 2016; 60 Гр), найменший – сорт Клондайк.

За винятком мутантної форми, похідної від сорту Іришка всі інші мутантні зразки статистично достовірно перевищили вихідні сорти за ознакою “Продуктивність однієї рослини”, при цьому це перевищення становило 42,01–156,17 %. Відносно вихідних сортів найвищим приростом продуктивності рослин відзначився мутантний зразок Чайка (2013–2016; 60 Гр), найменшим – Клондайк (2012–2014, 2015; 130 Гр) (див. табл. 4). Для всієї дослідженої вибірки зразків розмах варіювання даної ознаки за усередненими даними 2016–2018 років був в межах 0,73–2,40 кг / росл. з амплітудою варіювання  $A_m = 0,55$  кг / росл.

Дані щодо ознак продуктивності мутантних рослин томата, одержаних від сортів, придатних до механізованого збирання врожаю наведені у табл. 5. Для аналізу було відібрано 4 пари зразків томатів, які склалися з одного мутантного добору та сорту, від якого він був похідний. Для дослідженої вибірки зразків томата розмах варіювання ознаки “Маса плоду” був в межах 59,96–102,51 г з амплітудою варіювання  $A_m = 42,55$  г. Найбільшою масою плоду за середньостатистичними даними 2016, 2017 років відзначився сорт Кумач. Дві мутантні форми Сармат (2015, 2016; 130 Гр) та Кумач (2015, 2016; 130 Гр) поступалися відповідним вихідним формам за даним показником (див. табл. 5) на 20,66 г і на 13,9 г, відповідно. Порівняно із вихідними сортами, статистично достовірно перевищили за масою плоду два мутантні зразки Ріо-Фуєго (2011, 2012\*, 2013–2016; 60 Гр) на 22,78 % і Інгулецький-1 (2011, 2016; 130 Гр) на 56,66 % (див. табл. 5).

**Таблиця 4** – Прояв кількісних ознак, які визначають урожайність мутантних зразків томата, похідних від сортів, рекомендованих для свіжого споживання та переробки

№ з/п	Мутантний зразок	Кількісні ознаки мутантних рослин томата											
		Маса плоду, г				Кількість плодів на одній рослині, шт.				Продуктивність однієї рослини, кг / росл.			
		2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$	2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$	2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$
1	Сорт Карась (контроль)	68,87	142,02	115,45	105,44	13,03	5,32	10,32	9,18	0,79	0,8	0,82	0,79
2	Карась (2012, 2015, 2016; 60 Гр)	88,84	74,17	83,49	81,50	21,01	10,51	14,69	15,76	1,85	0,78	1,35	1,31
3	Сорт Чайка (контроль)	56,88	63,55	61,43	60,22	12,05	11,3	12,54	11,67	0,79	0,68	0,78	0,73
4	Чайка (2013–16; 60 Гр)	95,83	62,8	76,96	79,32	30,03	15,03	23,63	22,53	2,85	0,9	1,95	1,87
5	Сорт Іришка (контроль)	21,57	34,75	30,25	28,16	32,01	35,49	35,71	33,75	0,59	1,24	0,93	0,91
6	Іришка (2012, 2013, 2015, 2016; 60 Гр)	28,61	22,86	28,32	25,74	51	28,76	40,82	39,88	1,43	0,61	1,14	1,02
7	Сорт Елеонора (контроль)	58,99	72,43	68,32	65,71	12,02	14,82	12,98	13,42	0,73	1,08	0,95	0,90
8	Елеонора (2012–2016; 60 Гр)	67,85	41,5	55,79	54,68	30,98	19,98	26,56	25,48	2,05	0,78	1,26	1,42
9	Сорт Малинове Віканте (контроль)	99,01	115,01	111,14	107,01	9,81	9,61	10,35	9,71	0,82	1,18	1,06	1,0
10	Малинове Віканте (2012, 2015, 2016; 60 Гр)	126,97	131,48	123,65	129,23	15,97	10,26	14,18	13,12	1,92	1,48	1,64	1,70
11	Сорт Клондайк (контроль)	185,7	210,22	198,45	197,96	8,96	7,81	9,4	8,38	1,75	1,64	1,75	1,69
12	Клондайк (2012–2015; 130 Гр)	203,87	204,78	202,31	204,33	16,05	7,83	12,4	11,94	3,26	1,55	2,35	2,40
	$X_{min}$	21,57	22,86	28,32	25,74	8,96	5,32	9,40	8,38	0,59	0,61	0,78	0,73
	$X_{max}$	203,87	210,22	202,31	204,33	51	35,49	40,82	39,88	3,26	1,64	2,35	2,4
	$A_m = X_{max} - X_{min}$	182,3	187,36	173,99	178,59	42,04	30,17	31,42	31,5	2,67	1,03	1,57	1,67
	$HP_{0,05}$	5,67	5,75	4,88	12,89	1,37	1,36	1,29	3,11	0,62	0,47	0,58	0,55

**Таблиця 5** – Прояв кількісних ознак, які визначають урожайність мутантних зразків томата, похідних від сортів, придатних для механізованого збирання врожаю

№ з/п	Мутантний зразок	Кількісні ознаки мутантних рослин томата											
		Маса плоду, г				Кількість плодів на одній рослині, шт.				Продуктивність однієї рослини, кг/росл.			
		2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$	2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$	2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$
1	Сорт Сармат (контроль)	58,54	146,27	107,86	102,41	9,99	7,96	9,14	8,98	0,38	1,15	0,74	0,76
2	Сармат (2015, 2016; 130 Гр)	103,44	60,07	80,85	81,75	20,95	17,79	18,65	19,37	1,98	1,08	1,44	1,53
3	Сорт Ріо-Фуєго (контроль)	57,6	62,31	56,54	59,96	17,04	9,33	14,3	13,19	0,98	0,54	0,85	0,76
4	Ріо-Фуєго (2011, 2012*, 2013–2016; 60 Гр)	84,64	62,6	61,54	73,62	28,04	17,36	21,54	22,70	2,33	1,11	1,65	1,72
5	Сорт Інгулецький-1 (контроль)	52,78	76,19	63,58	64,49	16,01	13,45	16,47	14,73	0,72	1	0,75	0,86
6	Інгулецький-1 (2011, 2016; 130 Гр)	101,77	100,29	100,35	101,03	23,05	8,04	16,71	15,54	2,42	0,78	1,54	1,60
7	Сорт Кумач (контроль)	84,03	120,99	104,15	102,51	9,96	10,34	9,58	10,15	0,65	1,2	0,94	0,92
8	Кумач (2015, 2016; 130 Гр)	109,25	67,97	89,54	88,61	23,03	19,43	20,87	21,23	2,46	1,26	1,95	1,86
	$X_{min}$	52,78	60,07	56,54	59,96	9,96	7,96	9,14	8,98	0,38	0,54	0,74	0,76
	$X_{max}$	109,25	146,27	107,86	102,51	28,04	19,43	21,54	22,7	2,46	1,26	1,95	1,86
	$A_m = X_{max} - X_{min}$	56,47	86,2	51,32	42,55	18,08	11,47	12,40	13,72	2,08	0,72	1,21	1,1
	$HP_{0,05}$	5,8	5,81	4,57	16,34	1,55	1,46	1,48	3,28	0,64	0,59	0,42	0,57

Розмах варіювання ознаки “Кількість плодів на одній рослині” для дослідженої вибірки зразків томата коливався в межах 8,98–22,70 шт. з амплітудою варіювання  $A_m = 13,72$  шт. Окрім мутантного зразку Інгулецький-1 (2011, 2016; 130 Гр), який статистично достовірно не перевищив вихідну форму – сорт Інгулецький-1 за даним показником, інші мутантні зразки були кращими від своїх вихідних сортів. Зокрема, мутантний зразок Сармат (2015, 2016; 130 Гр) на 115,7 %, Ріо-Фуєго (2011, 2012\*, 2013–2016; 60 Гр) на 66,72 % і Кумач (2015, 2016; 130 Гр) на 109,16 %. Найбільший рівень за ознакою “Кількість плодів на одній рослині” мав мутан-

тний зразок Ріо-Фуєго (2011, 2012\*, 2013–2016; 60 Гр) –  $22,70 \pm 1,80$  шт.

Аналіз мутантних зразків томата, похідних від сортів, придатних до механізованого збирання врожаю засвідчив їх високу продуктивність порівняно із вихідними формами. Це позначилося у статистично достовірному перевищенні даного показника на 86,05–126,32 %. За середньостатистичними даними 2016, 2017 років розмах варіювання даної ознаки становив 0,76–1,86 кг / росл. при амплітуді варіювання  $A_m = 1,10$  кг / росл. Кращим за даним показником був мутантний зразок Кумач (2015, 2016; 130 Гр) –  $1,86 \pm 0,24$  кг.



Результати біохімічної оцінки плодів мутантних зразків томата, одержаних від сортів різного напрямку використання зведені у таблицях 6 і 7. Зокрема, у таблиці 6 містяться порівняльні дані за 6 парами зразків томата, які поєднують мутантні зразки та вихідні сорти, які за напрямом використання є придатними для свіжого споживання і переробки. Всього було проведено оцінку плодів за проявом чотирьох ознак – за вмістом: "Сухої розчинної речовини", "Загального цукру", "Вітаміну С" і "Титрованих кислот".

Як свідчать одержані дані за усередненими середньостатистичними даними 2016, 2017 років розмах варіювання ознаки "Вміст сухої розчинної речовини" був в межах 4,46–6,05 % ( $A_m = 1,59$  %). Аналогічний показник для ознаки "Вміст загального цукру" становив 2,59–4,85 % ( $A_m = 2,26$  %), для ознаки "Вміст вітаміну С" – 15,75–23,12 мг / 100 г ( $A_m = 7,37$  мг / 100 г) і для ознаки "Вміст титрованих кислот" – 0,36–0,70 % ( $A_m = 0,34$  %). Серед дослідженої вибірки генотипів найкращим за вмістом сухої розчинної речовини і загального цукру у плодах виявився зразок Іришка (2012, 2013, 2015, 2016; 60 Гр) –  $6,05 \pm 0,18$  % і  $4,85 \pm 0,35$  %, відповідно. За вмістом вітаміну С – зразок Чайка (2013–2016; 60 Гр) –  $23,12 \pm 1,60$  мг / 100 г. Сорт Чайка виявився кращим за вмістом титрованих кислот –  $0,70 \pm 0,04$  % (табл. 6).

Виявлено два мутантні зразки, які за комплексом усіх чотирьох досліджених біохімічних ознак статистично достовірно перевищили вихідні форми – сорти Карась і Малинове Віканте. Зокрема, у відсотковому співвідношенні мутантний зразок Карась (2012, 2015, 2016; 60 Гр) за вмістом сухої розчинної речовини перевищив вихідний сорт на 27,98 %, за вмістом загального цукру на 40,88 %, за вмістом вітаміну С на 37,52 % і вмістом титрованих кислот на 40,91 %. Відповідно мутантний зразок Малинове Віканте (2012, 2015, 2016; 60 Гр) за вмістом сухої розчинної речовини перевищив вихідний сорт на 26,46 %, за вмістом загального цукру на 38,08 %, за вмістом вітаміну С на 26,57 % і вмістом титрованих кислот на 63,89 % (див. табл. 6).

Виявлено два мутантних зразки, які перевищили вихідні форми за проявом двох біохіміч-

них ознак. Зокрема, зразок Чайка (2013–2016; 60 Гр) статистично достовірно перевищив вихідний сорт за вмістом загального цукру на 25,87 % і за вмістом вітаміну С на 12,40 %. Аналогічно, зразок Елеонора (2012–2016; 60 Гр) перевищив вихідний сорт за вмістом загального цукру на 13,22 % і вмістом титрованих кислот у плодах на 20 %. Мутантний зразок Іришка (2012, 2013, 2015, 2016; 60 Гр) перевищив вихідний сорт лише за проявом однієї ознаки "Вміст загального цукру" на 15,75 %. Мутантна форма, одержана від сорту Клондайк за комплексом досліджених біохімічних ознак статистично достовірно не перевищила вихідну форму (див. табл. 6). У таблиці 7 містяться порівняльні дані за 4 парами зразків томата, які поєднують мутантні зразки та вихідні сорти, які за напрямом використання є придатними до механізованого збирання врожаю. Як свідчать одержані дані, розмах варіювання ознаки "Вміст сухої розчинної речовини" був у межах 4,90–5,90 % ( $A_m = 1,0$  %). Аналогічним є показник для ознаки "Вміст загального цукру" становив 2,51–4,0 % ( $A_m = 1,49$  %), для ознаки "Вміст вітаміну С" – 15,79–20,17 мг / 100 г ( $A_m = 4,38$  мг / 100 г) і для ознаки "Вміст титрованих кислот" – 0,44–0,62 % ( $A_m = 0,18$  %). Серед дослідженої вибірки генотипів найкращим за вмістом сухої розчинної речовини і загального цукру виявився зразок Інгулецький-1 (2011, 2016; 130 Гр) –  $5,90 \pm 0,29$  % та  $4,0 \pm 0,33$  %, відповідно. За вмістом вітаміну С – сорт Інгулецький-1  $20,17 \pm 1,72$  %, за вмістом титрованих кислот – Кумач (2015, 2016; 130 Гр)  $0,62 \pm 0,02$  % (див. табл. 7). Розмах варіювання досліджених чотирьох біохімічних ознак усіх мутантних зразків припадав на межі похибки дослідів для вихідних сортів. Порівняно з вихідною формою статистично достовірно перевищення рівня ознаки "Вміст титрованих кислот" було лише у мутантного зразка Кумач (2015, 2016; 130 Гр) на 31,92 % (див. табл. 7).

**Таблиця 6** – Прояв біохімічних ознак плодів мутантних зразків томата, похідних від сортів, рекомендованих для свіжого споживання і переробки

№ з/п	Мутантний зразок	Вміст у плодах:															
		сухої розчинної речовини, %				загального цукру, %				вітаміну С, мг / 100 г				титрованих кислот, %			
		2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$	2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$	2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$	2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$
1	Сорт Карась (контроль)	4,70	4,51	4,26	4,61	2,88	3,05	2,54	2,96	15,14	16,35	14,89	15,75	0,42	0,46	0,39	0,44
2	Карась (2012, 2015, 2016; 60 Гр)	5,72	6,08	5,47	5,90	3,32	5,02	3,98	4,17	23,78	19,53	20,75	21,66	0,58	0,65	0,57	0,62
3	Сорт Чайка (контроль)	4,75	5,62	5,73	5,18	2,99	2,19	2,28	2,59	22,41	18,74	21,53	20,57	0,68	0,72	0,67	0,70
4	Чайка (2013–2016; 60 Гр)	4,69	6,2	5,51	5,44	2,73	3,8	3,46	3,26	24,86	21,38	22,89	23,12	0,52	0,52	0,49	0,52
5	Сорт Іришка (контроль)	6,04	5,4	5,78	5,72	4,32	4,06	4,65	4,19	25,79	13,08	18,54	19,44	0,52	0,55	0,51	0,54
6	Іришка (2012, 2013, 2015, 2016; 60 Гр)	5,74	6,35	5,66	6,05	3,9	5,79	4,62	4,85	28,76	14,19	20,49	21,47	0,47	0,57	0,5	0,52
7	Сорт Елеонора (контроль)	5,24	4,88	5,02	5,06	3,21	4,05	3,78	3,63	28,95	15,94	21,63	22,45	0,4	0,61	0,53	0,50
8	Елеонора (2012–2016; 60 Гр)	5,33	5,44	5,51	5,38	3,41	4,82	4,35	4,11	27,38	14,76	21,75	21,07	0,55	0,66	0,63	0,60
9	Сорт Малинове Віканте (контроль)	4,40	4,51	4,65	4,46	3,04	3,01	2,98	3,02	16,82	16,38	15,97	16,60	0,33	0,39	0,34	0,36
10	Малинове Віканте (2012, 2015, 2016; 60 Гр)	5,37	5,92	5,48	5,64	3,41	4,93	4,05	4,17	24,86	17,16	20,69	21,01	0,57	0,62	0,63	0,59
11	Сорт Клондайк (контроль)	4,34	5,98	5,19	5,16	2,75	4,82	3,55	3,79	24,04	14,46	19,67	19,25	0,55	0,68	0,59	0,61
12	Клондайк (2012–2014, 2015; 130 Гр)	4,85	4,26	4,37	4,56	3,28	2,22	2,65	2,75	25,7	13,86	19,43	19,78	0,55	0,71	0,61	0,63
	$X_{min}$	4,34	4,26	4,26	4,46	2,73	2,19	2,28	2,59	15,14	13,08	14,89	15,75	0,33	0,39	0,34	0,36
	$X_{max}$	6,04	6,35	5,78	6,05	4,32	5,79	4,65	4,85	28,95	21,38	22,89	23,12	0,68	0,72	0,67	0,7
	$A_m = X_{max} - X_{min}$	1,70	2,09	1,52	1,59	1,59	3,6	2,37	2,26	13,81	8,3	8,0	7,37	0,35	0,33	0,33	0,34
	$HP_{0,05}$	0,58	0,56	0,52	0,62	0,63	0,61	0,59	0,64	4,75	5,11	4,89	3,26	0,13	0,11	0,14	0,12

**Таблиця 7** – Прояв біохімічних ознак плодів мутантних зразків томата, похідних від сортів, придатних для механізованого збирання врожаю

№ з/п	Мутантний зразок	Вміст у плодах:															
		сухої розчинної речовини, %				загального цукру, %				вітаміну С, мг / 100 г				титрованих кислот, %			
		2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$	2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$	2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$	2016 р.	2017 р.	2018 р.	$X_{med}$
1.	Сорт Сармат (контроль)	5,42	5,82	5,71	5,62	3,46	4,2	3,79	3,83	16,08	19,76	18,16	17,92	0,33	0,76	0,49	0,54
2.	Сармат (2015, 2016; 130 Гр)	4,64	5,87	5,73	5,25	2,83	4,68	3,56	3,75	21,1	14,96	19,42	18,03	0,4	0,48	0,41	0,44
3.	Сорт Ріо-Фуєго (контроль)	5,28	6,46	5,35	5,87	3,11	4,18	3,78	3,65	19,65	13,33	17,11	16,49	0,48	0,74	0,58	0,61
4.	Ріо-Фуєго (2011, 2012*, 2013–2016; 60 Гр)	4,28	5,99	5,30	5,13	2,8	2,21	2,44	2,51	21,2	15,19	18,78	18,20	0,5	0,67	0,55	0,58
5.	Сорт Інгулецький-1 (контроль)	6,79	4,81	5,64	5,80	4,33	3,34	3,75	3,84	22,72	17,62	19,85	20,17	0,66	0,39	0,62	0,53
6.	Інгулецький-1 (2011, 2016; 130 Гр)	5,17	6,63	5,78	5,90	3,13	4,87	4,37	4,0	22,98	15,48	19,02	19,23	0,47	0,54	0,53	0,51
7.	Сорт Кумач (контроль)	3,91	5,88	5,01	4,90	2,68	5,03	3,67	3,85	17,31	18,66	18,25	17,99	0,39	0,55	0,50	0,47
8.	Кумач (2015, 2016; 130 Гр)	5,02	5,52	5,11	5,26	2,83	3,03	3,01	2,93	17,17	14,41	16,33	15,79	0,64	0,61	0,62	0,62
	$X_{min}$	3,91	4,81	5,01	4,90	2,68	2,21	2,44	2,51	16,08	13,33	16,33	15,79	0,33	0,39	0,41	0,44
	$X_{max}$	6,79	6,63	5,78	5,90	4,33	5,03	4,37	4,0	22,98	19,76	19,85	20,17	0,66	0,76	0,62	0,62
	$A_m = X_{max} - X_{min}$	2,88	1,82	0,77	1,00	1,65	2,82	1,93	1,49	6,90	6,43	3,52	4,38	0,33	0,37	0,21	0,18
	$HP_{0,05}$	0,61	0,60	0,57	0,61	0,60	0,57	0,48	0,65	5,92	5,27	5,75	4,47	0,14	0,17	0,13	0,11

**Висновки.** Багаторічні дослідження з фізичного мутагенезу томата дозволили з індивідуально дібраних рослин в межах сортів регіональної і зарубіжної селекції, насіння яких обробляли впродовж декількох років  $\gamma$ -опромінюванням дозами 60 і 130 Гр, відібрати мутантні форми з явним перевищенням рівня прояву цінних господарських ознак порівняно з вихідними сортами, а також форми з моногенно контрольованими маркерними генами – стерильність пилку (ген *ms*), зміна вегетативних органів – тип листка (ген *c*) і куша (ген *sp* +), крапчасте забарвлення поверхні листка (ген *m-2*), жовте забарвлення плоду (ген *r*), “золоті” смужки на епідермісі зрілого плоду

(ген *gs*), брудно-червоне забарвлення плоду (ген *gf*), а також забарвлення сім'ядоль (ген *wv*) та ін.

Вивчення впливу  $\gamma$ -опромінювання насіння сортів зарубіжної та регіональної селекції томата дозволило встановити диференційовану норму їх реакції за часткою рослин із зав'язаними плодами, яка залежить від генетичної основи сорту, варіанта обробки, дози  $\gamma$ -опромінювання та порядку розташування китиць на рослинах. Важливо відзначити високу стабільну стійкість геномів до підвищеної дози  $\gamma$ -опромінювання (130 Гр) на рівні відсотка репродуктивного навантаження на першій, дру-

гій і третій китицях у сортів: Легінь – 87,5; 82,5; 55,0 проти 100; 40; 40 у контрольних варіантах. До зниженої дози (60 Гр) у сортів: Чайка – 100; 92,5; 45 проти 100; 25; 0 у контрольних варіантах та Ріо-Фуєго – 96,6; 70,0; 53,3 проти 100; 60,0; 0 у контрольних варіантах.

Обробка  $\gamma$ -опромінюванням насіння сортів томата дозами 60 і 130 Гр сприяла підвищенню частоти прояву ранньостиглості у рослин, що добре узгоджується з напрямом вектора зниження тривалості вегетаційного періоду для певного блоку сортових популяцій. Найбільшою позитивною мутабільністю (підвищення частки ранньостиглих рослин, скорочення довжини вегетаційного періоду) та селекційну цінність за вказаними високоінформативними ознаками представляє сорт універсального використання Чайка – на рівні 101,5 діб проти 107 діб у контрольного варіанта і сорти, придатні до механізованого збирання врожаю: Легінь – на рівні 108,8 проти 114 діб у контрольного варіанта і Дорал – 100 проти 113 діб у контрольного варіанта.

За результатами проведеної роботи в напрямку індукованого мутагенезу до Національного центру генетичних ресурсів рослин України за період 2016–2018 років передано 8 гомозиготних ліній томата. Іншим практичним добутком досліджень з індукованого мутагенезу томата (*L. esculentum* Mill.) була розробка способу отримання багатомаркерних мутантних форм. Технічним результатом якого є збільшення у рослин сорту Елеонора кількості багатомаркерних мутацій за рахунок послідовного  $\gamma$ -опромінювання насіння протягом чотирьох, п'яти років.

## References

- Adam, M.Y., Elbashir, H.A. and Ahmed, A.H.R. (2014). Effect of Gamma Radiation on Tomato Quality during Storage and Processing Current Research. *Journal of Biological Sciences*. Vol. 6(1), pp. 20–25. [in English].
- Ahmed, M.A., Chakraborty, N., Tabana, Y., Dahham, S.S. et al. (2017). The Effect of Physical and Chemical Mutagen on Tomato Plant. *Advances in Biological Research*. Vol. 11 (2), pp. 64–69. doi: 10. 5829/idosi. abr. [in English].
- Bondarenko, G.L., Yakovenko, K.I. (Eds). (2001). *Metodyka doslidnoyi spravy v ovochivnytstvi i bashtannytstvi* [Methodology of experimental work in vegetable and melon growing]. Kharkiv: Osnova, 369 p. [in Ukrainian].
- Dospekhov B.A. (1985). *Metodyka polevogo opyta*. [Field experience]. Moscow: Agropromizdat, 350 p. [in Russian].
- Grube, R.C., Brennan, E.B. and Ryder, E.J. (2003). Characterization and genetic analysis of a lettuce (*Lactuca sativa* L.) mutant, weary, that exhibits reduced gravitropic response in hypocotyls and inflorescence stems. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 54, pp. 1259–1268. [in English].
- Kravchenko, V.A., Prilipka, O.V. (2001). *Metodyka i tekhnika selektsiynoi roboty z tomatom*. [Method and technique of breeding work with tomato]. Kyiv: Agrarian Science, 84 p. [in Ukrainian].
- Laskar, R.A., Chaudhary, C., Khan, S., Chandra, A. (2016). Induction of mutagenized tomato populations for investigation on agronomic traits and mutant phenotyping. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. Vol. 17, pp. 51–60. [in English].
- Metodicheskiye ukazaniya po selektsii sortov i gibridov tomata dlya otkrytogo i zashchishchennogo grunta*. [Methodical recommendation for the breeding of varieties and hybrids of tomato for open and protected ground]. (1986). Moscow: VASHNIIL, 112 p. [in Russian].
- Müntzing, A. (1967). *Genetika (obshchaya i prikladnaya)*. [Genetics (general and applied)]. Moscow: World, 610 p. [in Russian].
- Ohki, S. and Hatashita, M. (2012). Mutation breeding by ion beam in lettuce (*Lactuca sativa* L.) using an *in vitro* regeneration system. *Acta Horti*. Vol. 961, pp. 285–290. doi: 10.17660/ActaHortic.2012.961.37. [in English].
- Samovol, A.P., Kornienko, S.I., Nikolov, O.T., Gorobchenko, O.A. (2015). Indutsirovanny mutagenez. Soobshcheniye 3: Norma reaktsii mutabilnosti tomata na  $\gamma$ -oblucheniye semyan (vtoroy kriteriy – proyavleniye kolichestva mutantnykh form i ih kachestvennyye i kolichestvennyye priznaki). [Induced mutagenesis. Message 3: The norm of the reaction of tomato mutability on the  $\gamma$ -irradiation of seeds (the second criterion is the manifestation of the number of mutant forms and their qualitative and quantitative characteristics)]. *Vegetable and Melon Growing*. No 61, pp. 237–250. [in Russian].
- Samovol, O.P., Kondratenko, S.I., Gorobchenko, O.O., Nikolov, O.T., Zamitska, T.M. Patent No 131538 Ukraina. MPK (2006) A01H 4/00. Sposib otrymannia bahatomarkernykh mutantnykh form tomata (*L. esculentum* MILL.).



[Method for obtaining multi-marker mutant forms of tomato (*L. esculentum* MILL.)]; Applicant and Patent Attorney Institute of Vegetable and Melon Growing NAAS. № u201805946 ; statted. 29.05.18 ; Bjul. 25.01.2019. [in Ukrainian].

Sarizam, Ş., Kantoğlu, K.Y., Ellialtıoğlu, Ş. (2017). Determination of Effective Mutagen Dose for Lettuce (*Lactuca sativa* var. *longifolia* cv. Cervantes) Seeds. *Eurasian Journal of Agricultural Research*. Vol. 1. Issue 2, pp. 108–114. [in English].

Vicalvi, M. C., Solidonio, E. G., Melo, P. et al. (2013). Evaluation of shelf life of tomatoes after using radiation with cobalt-60 source. *International Nuclear Atlantic Conference. INAC 2013*. (Brazil, October 26-29, 2013). Brazil: Recife. PE, 2013. URL: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/45/086/45086025.pdf>. [in English].

Vishnu, P.B., Rakesh, C.V. (2018). Properties of Gamma Radiation on Certain Morphological Characteristic of Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.). *International Journal of Innovative Science and Research Technology*. Vol. 3. Issue 6. P. 190–193. [in English]. of Gamma Radiation on Certain Morphological Characteristic of Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.). *International Journal of Innovative Science and Research Technology*. Vol. 3. Issue 6, pp. 190–193. [in English].