

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-96-102>
УДК: 635.652.2:631.531.027.34

О.А. Коцюбинская^{1*}, Е.В. Бондаренко²,
Н.Г. Казыдуб¹, Я.А. Блинова²

¹ ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» (Омский ГАУ) 644008, Россия, г. Омск, Институтская пл., д. 1

² ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт») – ВНИИРАЭ) 249035, Россия, Калужское обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1.

*Автор для переписки:
oa.kotsyubinskaya@omgau.org

Финансирование. Исследования были проведены в рамках реализации программы грантов АО «РОССЕЛЬХОЗБАНК» для представителей научного сообщества аграрных вузов (Договор № РСХБ-009-40/40-2023 от 20.10.2023) по теме: «Разработка технологии ускоренного селекционного процесса бобовых культур (на примере фасоли обыкновенной) на основе радиационного мутагенеза».

Благодарности. Соавторы благодарят канд. биол. наук Чижю Т.В. (НИЦ «Курчатовский институт») – ВНИИРАЭ) за облучение семян.

Вклад авторов: Коцюбинская О.А.: концептуализация, проведение полевых и лабораторных исследований, создание рукописи и ее редактирование. Бондаренко Е.В.: концептуализация, программное обеспечение, верификация данных, визуализация, создание рукописи и ее редактирование. Казыдуб Н.Г.: руководство исследованием и редактирование рукописи. Блинова Я.А.: верификация данных, визуализация, подготовка семян к облучению.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Коцюбинская О.А., Бондаренко Е.В., Казыдуб Н.Г., Блинова Я.А. Связанные с урожайностью морфометрические показатели растений фасоли овощной после гамма-облучения семян. *Овощи России*. 2025;(4):96-102.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-96-102>

Поступила в редакцию: 28.03.2025

Принята к печати: 27.06.2025

Опубликована: 29.08.2025

Olga A. Kotsyubinskaya^{1*},
Ekaterina V. Bondarenko²,
Nina G. Kazydub¹, Yana A. Blinova²

¹Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin
Institutskaya Ploshchad, 1, Omsk, Omsk region, 644008, Russia

²Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre
"Kurchatov Institute"
Kievskoe shosse, 1, building 1, Obninsk, Kaluga region, 249035, Russia

*Corresponding Author:
kotsyubinskaya@omgau.org

Funding. The research was carried out within the grant program of AO ROSSELKHOZBANK for representatives of the agricultural universities' scientific community (Agreement No. РСХБ-009-40/40-2023 dated 10/20/2023) on the topic: "Development of a technology for the accelerated selection process of legumes (using common beans as an example) based on radiation mutagenesis".

Acknowledgments. The co-authors thank the cand. of biol. sciences Taras Chizh (NRC "Kurchatov Institute") – RIRAE) for irradiation of seeds.

Authors' Contribution: Kotsyubinskaya O.A.: conceptualization, conducting field and laboratory research, writing and editing the manuscript. Bondarenko E.V.: conceptualization, software, data verification, visualization, writing and editing the manuscript. Kazydub N.G.: research management and manuscript editing. Blinova Ya.A.: data verification, visualization, preparation of seeds for irradiation.

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

For citation: Kotsyubinskaya O.A., Bondarenko E.V., Kazydub N.G., Blinova Ya.A. Yield-related morphometric indicators of vegetable bean plants after gamma irradiation of seeds. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(4):96-102. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-4-96-102>

Received: 28.03.2025

Accepted for publication: 27.06.2025

Published: 29.08.2025

Связанные с урожайностью морфометрические показатели фасоли овощной после гамма-облучения семян

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Радиационный мутагенез показал свою эффективность в расширении генетического разнообразия селекционного материала для ряда культур. Для применения γ -излучения с целью увеличения изменчивости количественных признаков фасоли овощной необходимо проведение ряда радиобиологических исследований. Цель. Изучить связанные с урожайностью морфометрические показатели, симбиотическую активность и жизнеспособность пыльцы фасоли овощной после γ -облучения семян (в дозах 25, 50 и 75 Гр) для разработки протокола радиационного мутагенеза.

Материалы и методы. Объекты исследования – 2 сорта фасоли овощной селекции Омского ГАУ. Семена были γ -облучены (источник – ^{60}Co) в дозах 25, 50 и 75 Гр (мощность дозы 60 Гр/час). М1 растения выращивались в поле Учебно-опытного хозяйства Омского ГАУ. В поле были также высеяны необлученные семена М2 сорта Маруся (полученные с растений, облученных в дозе 50 Гр). Оценивали морфометрические показатели, связанные с урожайностью, симбиотическую активность, жизнеспособность пыльцы. Статистический анализ проводили непараметрическими методами в R (вер. 4.3.3).

Результаты. Гамма-облучение семян обоих исследуемых сортов фасоли овощной отрицательно повлияло на некоторые морфометрические показатели растений М1, связанные с урожайностью (число семян в бобе, число семян с растения и масса семян). В отличие от сорта Маруся, облучение семян сорта Памяти Рыжковой отрицательно сказалось на скорости наступления цветения, образования бобов и технической спелости, вне зависимости от дозы. У растений сорта Маруся после облучения семян в дозе 50 Гр отмечено более раннее цветение и образование бобов, по сравнению с контролем, а также более выраженное развитие клубеньков. У растений в группе облучения 75 Гр обнаружена мужская стерильность. Облучение семян обоих исследуемых сортов привело к увеличению массовой доли кальция и белка в зеленых бобах поколения М1. В отличие от М1, у М2 растений сорта Маруся были выявлены статистически значимо более высокие показатели высоты растений, числа бобов и семян с растения, а также массы семян с растения.

Заключение. Облучение семян отрицательно влияет на элементы продуктивности растений в поколении М1 и положительно – в М2. В полевых условиях М2 растения сорта Маруся показали лучшую урожайность, по сравнению с родительским сортом, и будут использованы в дальнейшей селекции. Впервые показано влияние γ -облучения семян фасоли овощной на развитие клубеньков. Наиболее выраженный стимулирующий эффект отмечен для дозы 50 Гр у сорта Маруся. Для протокола радиационного мутагенеза фасоли овощной рекомендуется доза 50 Гр.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

радиационный мутагенез, ионизирующее излучение, фасоль овощная, развитие клубеньков

Yield-related morphometric indicators of vegetable bean after gamma irradiation of seeds

ABSTRACT

Relevance. Radiation mutagenesis has shown its effectiveness in expanding the genetic diversity of breeding material for a number of crops. A number of radiobiological studies are required in order to use γ -radiation to increase the variability of quantitative traits of vegetable beans.

Objective. To study the yield-related morphometric parameters, symbiotic activity and pollen viability of vegetable beans after γ -irradiation of seeds (at doses of 25, 50 and 75 Gy) to develop a radiation mutagenesis protocol.

Materials and Methods. The objects of the study were two varieties of vegetable bean bred by Omsk State Agrarian University. The seeds were γ -irradiated (source – ^{60}Co) at doses of 25, 50 and 75 Gy (dose rate 60 Gy/hour). M1 plants were grown in the field of the Educational and Experimental Farm of Omsk State Agrarian University. Non-irradiated M2 seeds of variety Marusya (obtained from plants irradiated at a dose of 50 Gy) were also sown in the field. Yield-associated morphometric parameters, symbiotic activity, and pollen viability were assessed. Statistical analysis was performed using nonparametric methods in R (ver. 4.3.3).

Results. Gamma irradiation of seeds of both studied varieties of vegetable beans adversely affected some yield-related morphometric parameters of M1 plants (number of seeds in a pod, number of seeds per plant and seed weight). Unlike the Marusya variety, irradiation of seeds of the Pamyati Ryzhkovoy variety adversely affected the rate of flowering, pod formation and technical maturity, regardless of the dose. In Marusya plants, after seed irradiation at a dose of 50 Gy, earlier flowering and pod formation were observed compared to the control, as well as more pronounced development of nodules. Male sterility was detected in plants in the 75 Gy irradiation group. Irradiation of seeds of both studied varieties led to an increase in the mass fraction of calcium and protein in green beans of the M1 generation. Unlike M1, statistically significantly higher plant height, number of pods and seeds per plant and seed weight per plant were detected in M2 plants of the Marusya variety.

Conclusion. Seed irradiation has a negative effect on the productivity parameters of plants in the M1 generation and a positive effect on M2. In field conditions, M2 plants of the Marusya variety showed better yields compared to the parent variety and will be used in further selection. The effect of γ -irradiation of vegetable bean seeds on the development of nodules has been shown for the first time. The most pronounced stimulating effect was noted for the dose of 50 Gy in the Marusya variety. For the radiation mutagenesis protocol of vegetable beans, a dose of 50 Gy is recommended.

KEYWORDS:

radiation mutagenesis, ionizing radiation, vegetable beans, nodules development

Введение

Несмотря на современные достижения в области селекции растений и земледелия, темпы прироста населения диктуют необходимость в выведении новых высокоурожайных сортов сельскохозяйственных культур, устойчивых к изменениям климата и биотическим факторам. Известно, что селекционные достижения зависят, в том числе, от количества полиморфных форм целевого признака, находящихся в распоряжении селекционера. Для увеличения изменчивости количественных признаков в селекционном материале используется индуцированный мутагенез. Эффективным методом при создании исходных форм для селекции культур является радиационный мутагенез. При помощи γ -облучения вегетативных почек и пыльцы культуры персика, к примеру, было получено 40 мутантных форм, выделенных по комплексу ценных признаков (сдержанный рост, позднее цветение, крупные плоды, повышенные засухоустойчивость и морозостойкость) [1]. Облучение привоев яблони позволило увеличить изменчивость морфо-агрономических признаков для отбора форм с оптимальной высотой дерева и повышенным количеством плодов [2]. Гамма-облучение семян применяется для создания мутантных популяций зернобобовых культур: люпина желтого с последующим отбором М2 растений по признакам продуктивности и устойчивости к антракнозу [3], нута – с прицелом на устойчивость к фузариозу [4], сои – для выхода мутантов с хозяйственно полезными признаками и получения исходных форм для селекции скороспелых высокопродуктивных сортов [5], боба обыкновенного – с отбором генотипов, устойчивых к заразику [6] и с новой архитектурой соцветия [7].

Все большую значимость в современном рационе человека занимают зернобобовые культуры, важное место среди которых отведено фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.). Это культура с высоким содержанием белка, аминокислотный состав которого близок к мясному белку [8]. Для употребления в пищу зеленых бобов возделывают фасоль овощную. За последние 5 лет (2020 г. по март 2025 г.) в список Государственного реестра сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию, включено только 20 сортов фасоли овощной. Селекция этой культуры направлена на создание сортов с высокой урожайностью, экологической устойчивостью, в сочетании с отличным качеством зеленых бобов (с высоким содержанием белка, микро- и макроэлементов, пригодностью к консервированию, без пергаментного слоя в створках и без волокон в швах боба и т.д.).

Учитывая сортоспецифичность в реакции на облучение семян, для успешного применения γ -индуцированного мутагенеза в селекции фасоли овощной необходимо проведение ряда радиобиологических исследований. В пилотном эксперименте [9] изучено влияние γ -облучения семян (в дозах 50, 100 и 200 Гр) на всхожесть, морфометрические параметры и продолжительность фенофаз отечественных сортов фасоли. Обнаружено, что γ -облучение во всех применимых дозах статистически значимо ингибировало развитие корней, а дозы 100 и 200 Гр оказались летальными. Целью данного исследования является изучение связанных с урожайностью морфометрических показателей, симбиотической активности и жизнеспособности пыльцы фасоли овощной после γ -облучения семян (в дозах 25, 50 и 75 Гр) для разработки протокола радиационного мутагенеза.

Материалы и методы.

Объектами исследования выбраны 2 сорта фасоли овощной селекции Омского ГАУ: Маруся (среднеспелый сорт, включен в Государственный реестр селекционных достижений в 2015 г.) и Памяти Рыжковой (среднеспелый сорт, устойчивый к антракнозу; включен в Государственный реестр селекционных достижений в 2012 г.) [10-12].

Сухие семена (урожай 2023 г.) сортов фасоли подверглись γ -облучению (в мае 2024 г.) на уникальной научной установке ГУР-120 (источник – 60С°, НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ) в дозах 25, 50 и 75 Гр с мощностью дозы 60 Гр/час в трех повторностях (по 35 семян в каждой) для каждого экспериментального условия. Диапазон доз выбирался, исходя из рекомендуемых для облучения семян фасоли доз 80-160 Гр [13] и по результатам пилотного лабораторного исследования [9]. Облученные и контрольные (необлученные) семена высевались в полевых условиях на Учебно-опытном хозяйстве Омского ГАУ (южная лесостепь Омской области, г. Омск; посев 17.05.2024). В качестве стандарта выступали семена сорта Маруся (необлученные). В поле были также посеяны необлученные семена М2 сорта Маруся (семена, полученные с растений, выросших из облученных в дозе 50 Гр семян пилотного эксперимента [9]).

В ходе исследования оценивали морфометрические показатели, связанные с урожайностью (высота растения, см; длина боба, см; прикрепление нижнего боба, см; расстояние от кончика боба до почвы, см; число бобов у растения, шт.; число семян в бобе, шт.; число семян с растения, шт.; масса семян с растения, г), длительность фаз развития (всходы, цветение, образование бобов, технологическая спелость и биологическая спелость), симбиотическую активность фасоли в фазу цветения/начало образования зеленых бобов (число и масса крупных и мелких клубеньков с девяти растений каждой группы, кроме 75 Гр), содержание железа, цинка, кальция и белка в 300 г зеленых бобов и жизнеспособность пыльцы (у сорта Маруся). В варианте облучения 75 Гр из посеянных 105 семян возшло и развилось 22 растения сорта Маруся и 29 растений Памяти Рыжковой, поэтому симбиотическую активность у этих экспериментальных групп не определяли.

Жизнеспособность пыльцы определяли в Международном селекционно-генетическом центре им. С.И. Леонтьева Омского ГАУ (2024 г.) по индивидуальной методике ВНИИССОК, разработанной в лаборатории гаметной селекции [14]. Материалом для исследований являлись пыльцевые зерна отцовских растений сорта Маруся. Сбор пыльцы проводили во время массового цветения в первой декаде июля. Цветки собирали по 10-15 шт. каждой экспериментальной группы (в пергаментные пакетики). Цитоморфологический анализ выполняли с помощью микроскопа Micros, оборудованного цифровой камерой Canon A560.

Биохимический анализ зеленых бобов определяли в сертифицированной лаборатории Омского филиала ФГБУ «Центр оценки качества зерна» испытательная лаборатория по нормативным документам: ГОСТ 10846–91 (белок), ГОСТ 30178-96 (цинк), ГОСТ 26570-95 (кальций), ГОСТ 30178-96 (железо).

Статистический анализ выполнен в среде программирования R версии 4.3.3 и MS Office Excel 2019. Гипотезу о нормально распределенной совокупности проверяли тестом Шапиро-Уилка. После подтверждения необходимости при-

менения непараметрических подходов для сравнения показателей исследуемых сортов использовали непараметрический дисперсионный анализ (критерий Крускала-Уоллеса с апостериорным тестом Данна (с поправкой на множественность FDR (False Discovery Rate))). Для попарного сравнения использовался тест Манна-Уитни (U -тест). Корреляционный анализ выполнен при помощи ранговой корреляции Спирмена. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$. Сравнение данных в описании результатов приведены в виде медианы и межквартильного размаха (Me [IQR]). НСР₀₅ рассчитывали по методике Доспехова.

Результаты и обсуждение.

Гамма-облучение семян фасоли овощной отрицательно повлияло на такие морфометрические показатели, связанные с урожайностью, как число семян в бобе, число семян с растения и масса семян (табл. 1).

При радиационной индукции мутагенеза снижение урожайности и других морфофункциональных параметров, а в высоких дозах – стерильность, ожидаемы в популяции М1 (растения, выросшие из облученных семян), особенно при выращивании в полевых условиях, где ослабленные радиацией растения подвержены дополнительным биотическим и абиотическим стрессорам [15].

Длительность фаз развития контрольной и облученных групп представлена на рисунке 1. У сорта Маруся отмечены более ранние всходы в группе семян, облученных в дозе 25 Гр, по сравнению с контролем (на 3 дня раньше), а в группе облученных в дозе 50 Гр – раннее цветение 75% растений (01.07 против 03.07 в контроле) и образование бобов (05.07 в сравнении с 07.07 в контроле). Облучение семян сорта Памяти Рыжковой отрицательно сказалось на скорости наступления цветения, образования бобов и спелости (разница с контролем достигала 4-6 дней в зависимости от дозы облучения).

Симбиотическую активность фасоли оценивали по числу и массе крупных и мелких клубеньков в фазу цветения – начало образования зеленых бобов (рис. 2). В группе облучения в дозе 25 Гр сорта Маруся у растений отмечено значимое уменьшение числа и массы крупных клубеньков и значительно большее число мелких клубеньков при незначительном увеличении их массы, а в дозе 50 Гр – статистически значимое увеличение числа и массы крупных клубеньков и массы мелких клубеньков. У растений сорта Памяти Рыжковой доза 25 Гр незначительно увеличила количество мелких клубеньков, статистически значимо повысив их массу. Обе исследуемые дозы оказали отрицательное влияние на развитие крупных клубеньков (рис. 2).

Таблица 1. Связанные с урожайностью морфометрические показатели растений фасоли овощной в зависимости от дозы гамма-облучения семян, 2024 год (Me [IQR])
Table 1. Yield-related morphometric indicators of vegetable bean plants, depending on the gamma-irradiation dose applied to the seeds, 2024 (Me [IQR])

Параметр	Доза, Гр	Маруся	Памяти Рыжковой
Длина растения, см	0	49,0 [8,5]	49,5 [9,75]
	25	45,0 [11,5]	50,0 [18,0]
	50	40,0 [11,0]*	46,0 [20,3]
	75	45,0 [11,0]	60,0 [14]
Длина боба, см	0	10 [0,5]	12 [1,0]
	25	10 [2,0]	14 [3,0]
	50	9 [2,0]	12 [3,0]
	75	9 [3,0]	14 [3,0]
Прикрепление нижнего боба, см	0	16,0 [5,0]	15,0 [4,0]
	25	16,0 [6,0]	15,0 [7,5]
	50	12,5 [7,3]	16,5 [6,0]
	75	15,0 [4,5]	18,0 [8,0]
Расстояние от кончика боба до почвы, см	0	7,0 [2,5]	3,0 [4,8]
	25	8,0 [7,0]	5,0 [6,0]
	50	5,0 [6,0]	4,5 [7,3]
	75	7,0 [6,0]	8,0 [7,0]
Число бобов на растении, шт.	0	27,0 [5,0]	29,5 [11,3]
	25	17,0 [17,5]	17,0 [13,0]
	50	22,5 [18,0]	18,0 [27,0]
	75	43,0 [30,5]	44,0 [18,0]
Число семян в бобе, шт.	0	4,4 [0,4]	5,2 [1,4]
	25	4,0 [0,9]	4,2 [1,1]*
	50	3,6 [1,73]*	4,1 [1,4]*
	75	2,8 [1,2]*	2,7 [1,2]*
Число семян с растения, шт.	0	119,0 [28]	137,0 [29,5]
	25	66,0 [65,5]*	75,0 [51,5]*
	50	73,5 [88,25]*	73,0 [103,0]*
	75	86,0 [108,5]	139,0 [63,0]
Масса семян, г	0	27,9 [5,2]	48,7 [7,9]
	25	15,7 [15,2]*	23,5 [19,9]*
	50	21,0 [21,4]	29,4 [37,6]*
	75	24,6 [22,5]	50,7 [20,9]

Данные представлены в виде Me [IQR] = медиана и межквартильный размах. *Статистически значимые различия от контроля (0 Гр) того же сорта при $p \leq 0,05$
Data are presented as Me [IQR] = median and interquartile range. *Statistically significant differences from the control (0 Gy) of the same variety at $p \leq 0.05$

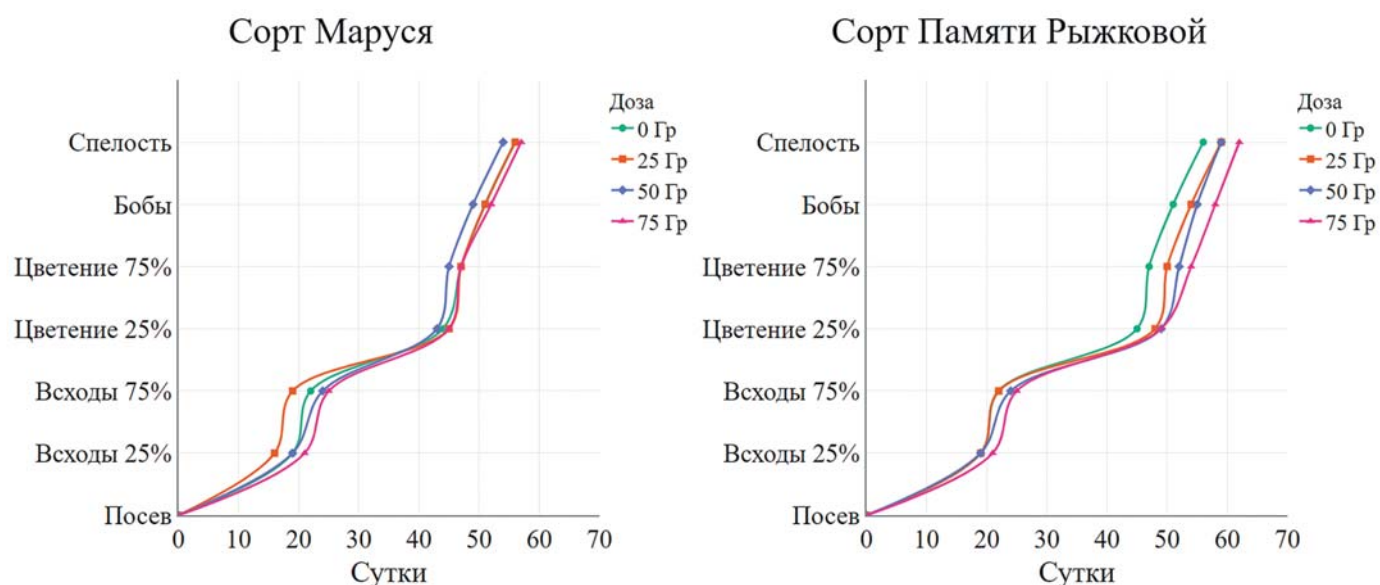


Рис. 1. Длительность основных фаз развития (всходы, цветение, образование бобов, технологическая спелость) фасоли овощной после γ -облучения семян в дозах 25, 50 и 75 Гр

Fig. 1. Duration of the main phases (germination, flowering, bean formation, technological maturity) of vegetable beans development after γ -irradiation of seeds at doses of 25, 50 and 75 Gy

Ранее у растений фасоли было показано, что УФ-излучение типа В усиливает образование клубеньков (в основном за счет увеличения количества и размера) [16]. В литературных источниках мы не нашли данных о влиянии γ -облучения семян на формирование клубеньков у растений фасоли овощной.

Более выраженное развитие клубеньков у растений сорта Маруся после облучения семян в дозе 50 Гр может быть связано с более ранним цветением и образованием бобов, по сравнению с контролем.

Особенности прорастания пыльцы и вопросы опыления играют важную роль в практической селекции. Жизнеспособность и фертильность пыльцы (способность

зрелой пыльцы к оплодотворению) оценивалась по ее прорастанию, росту пыльцевых трубок, делению генеративных клеток и образованию спермиев в 10-15 зрелых цветах фасоли овощной из разных групп облучения в сравнении с контрольным вариантом (рис. 3). Анализ показал, что в группе растений, облученных в дозе 25 Гр, проросло 98% пыльцевых зерен, а в варианте 50 Гр – 90-92% пыльцевых зерен. В группе облучения 75 Гр пыльцевые зерна оказались стерильными.

Качество и химический состав зеленых бобов фасоли овощной играет важную роль в их пищевой ценности. В зеленых бобах, собранных в фазу технической спелости, было измерено содержание железа, цинка, массовой доли

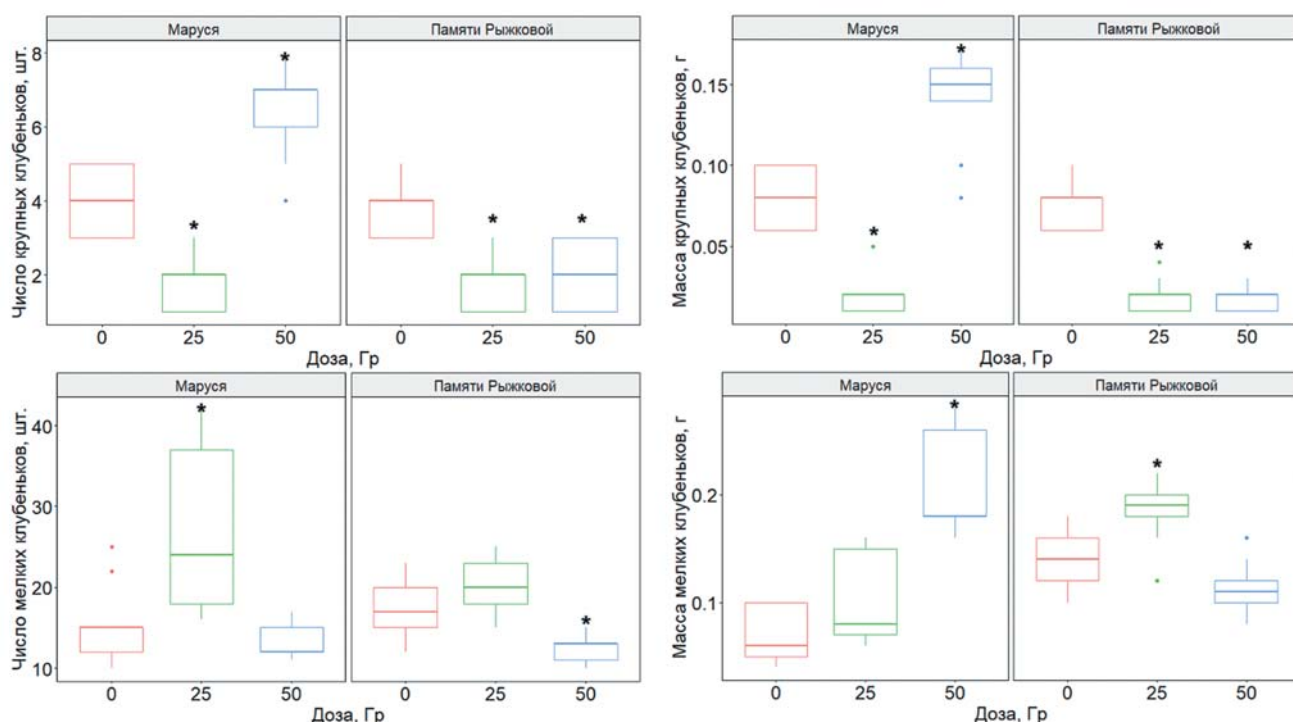


Рис. 2. Число и масса крупных и мелких клубеньков в фазу цветения - начало образования зеленых бобов фасоли овощной после γ -облучения семян в дозах 25, 50 и 75 Гр. * - статистически значимые различия с контролем (группа 0 Гр).

Fig. 2. The number and weight of large and small nodules in the flowering - the beginning of the formation of green beans phase of vegetable beans after γ -irradiation of seeds at doses of 25, 50 and 75 Gy. * - statistically significant differences with the control (0 Gy group).

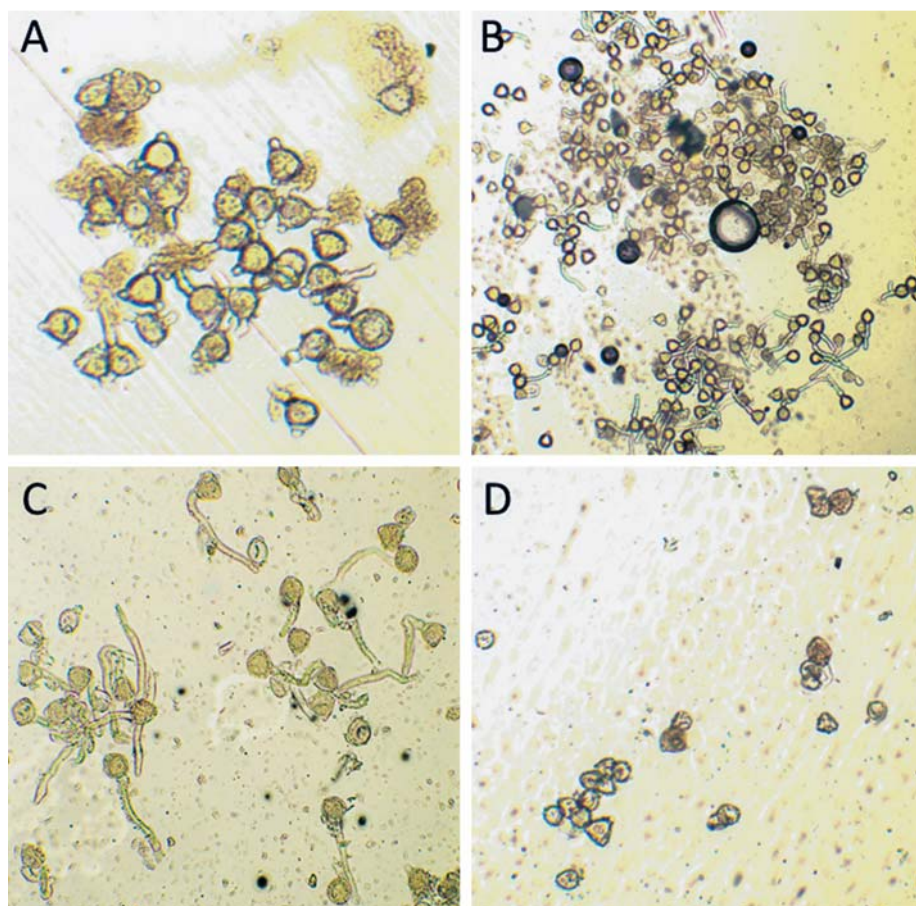


Рис. 3. Жизнеспособность пыльцы сорта Маруся (представлены наиболее показательные фото).
А) Контроль; В) Группа облучения в дозе 25 Гр; С) Группа облучения в дозе 50 Гр;
D) Группа облучения в дозе 75 Гр.

Fig. 3. Viability of pollen of the Marusya variety (the most representative photos).
(A) Control; (B) 25 Gy group; (C) 50 Gy group; (D) 75 Gy.

кальция и белка (таб. 2). У сорта Маруся отмечены значимо более высокие показатели по отношению к контролю в группе облучения 75 Гр по Zn, Ca и белку, в группе 50 Гр по Zn и Ca, в группе 25 Гр по Ca и белку.

У сорта Памяти Рыжковой были зафиксированы значимые превышения контрольных значений в группах: 75 Гр по Fe, Ca и белку; 50 Гр по Zn, Ca и белку и 25 Гр по массовой доле Ca и белка (таб. 2). Облучение семян обоих исследуемых сортов привело к увеличению массовой доли кальция и

белка в зеленых бобах поколения M1. Отбор по этим признакам важен в селекции на повышение питательной ценности фасоли овощного назначения и будет отслеживаться в дальнейшем.

В результате пилотного лабораторного эксперимента по γ -облучению трех сортов *Phaseolus vulgaris* L. селекции Омского ГАУ [9] были получены и в июне 2024 г. высеяны в поле семена M2 сорта Маруся для дальнейшего наблюдения. При оценке длины растений, длины боба, прикрепления

Таблица 2. Среднее содержание Fe, Zn, Ca и белка в зеленых бобах фасоли овощной после γ -облучения семян
Table 2. Average content of Fe, Zn, Ca, and protein in green beans after γ -irradiation of seeds

сорт	доза, Гр	железо млн ⁻¹	цинк млн ⁻¹	кальций, %	белок, %
Маруся	0	19,64	8,89	0,40	17,46
	25	12,23	8,30	0,69	20,21
	50	18,35	16,19	0,78	17,62
	75	20,67	17,16	0,81	20,77
	HCP ₀₅	1,77	1,26	0,07	1,90
Памяти Рыжковой	0	7,47	10,03	0,43	16,02
	25	9,00	5,80	0,49	18,10
	50	8,52	12,57	0,52	18,34
	75	26,09	10,64	0,60	21,65
	HCP ₀₅	2,27	0,97	0,05	1,85

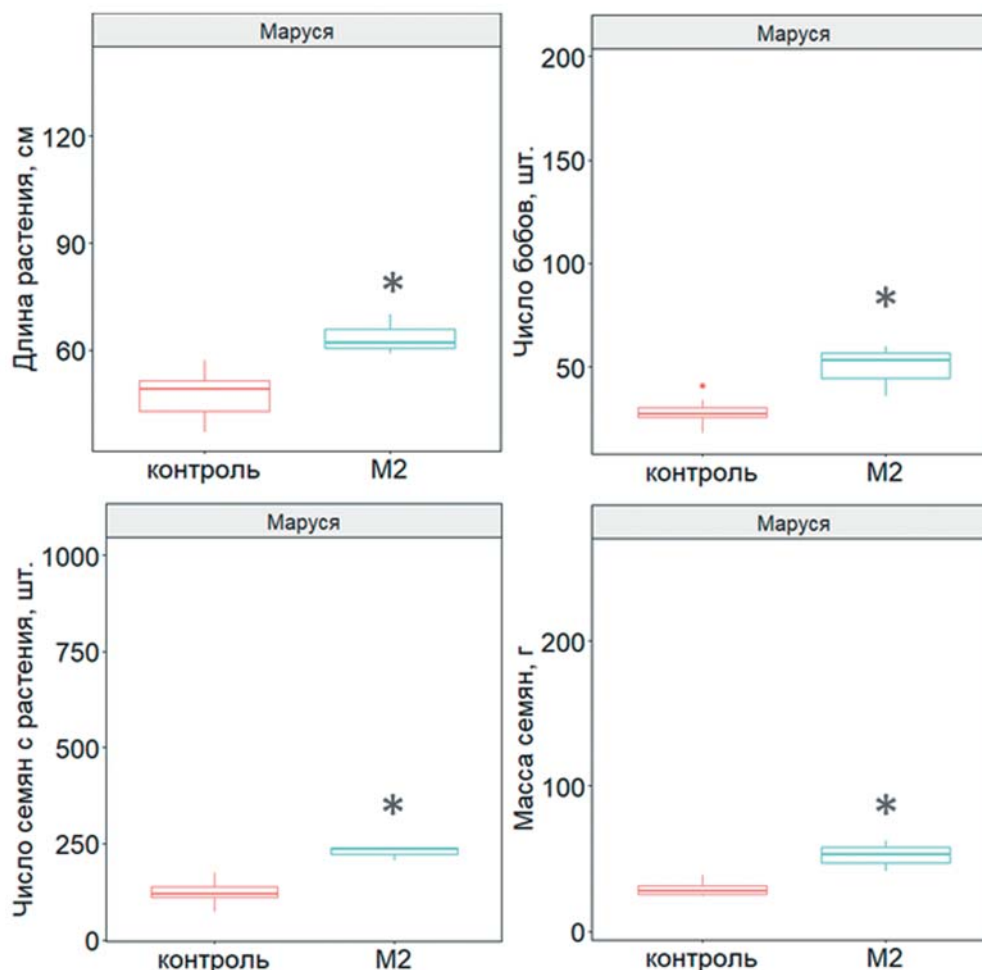


Рис.2. Число и масса крупных и мелких клубеньков в фазу цветения - начало образования зеленых бобов фасоли овощной после γ -облучения семян в дозах 25, 50 и 75 Гр. * - статистически значимые различия с контролем (группа 0 Гр).
Fig. 2. The number and weight of large and small nodules in the flowering - the beginning of the formation of green beans phase of vegetable beans after γ -irradiation of seeds at doses of 25, 50 and 75 Gy. * - statistically significant differences with the control (0 Gy group).

нижнего боба, расстояния от кончика боба до почвы, числа бобов с растения, числа семян в бобе и семян с растения и их массы, в отличие от M1, у M2 растений были выявлены статистически значимо более высокие показатели высоты растений (62[5,5] см у M2 и 49[8,5] см в контроле), числа бобов (53[12] шт. у M2 и 27[5] шт. в контроле) и семян с растения (237[16,5] шт. у M2 и 119[28] шт. в контроле), а также массы семян с растения (53,1[10,2] г у M2 и 27,9[5,2] г в контроле) (рис. 4).

Положительное влияние γ -облучения семян на семенную продуктивность и морфологические признаки растений в поколении M2 было также отмечено у люпина желтого: завязываемость плодов и семян, количество семян в бобе, масса семян с растения и масса их 1000 шт. в вариантах опыта превышали контроль [3].

Закключение

Облучение семян различных сортов фасоли овощной отрицательно влияет на элементы продуктивности растений в поколении M1 и положительно – в M2. В полевых условиях M2 растения сорта Маруся, второе поколение после облучения семян в дозе 50 Гр, показали более высокий урожай семян, по сравнению с родительским сортом, и будут рекомендованы в селекционный процесс.

Впервые показано влияние γ -облучения семян фасоли овощной на развитие клубеньков. Наиболее выраженный стимулирующий эффект отмечен для дозы 50 Гр у сорта Маруся.

Для протокола радиационного мутагенеза фасоли овощной рекомендуется доза 50 Гр.

Литература

- Смыков А.В. Радиационный мутагенез и изменчивость персика. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2019;(132):60-67. <https://doi.org/10.25684/NBG.boilt.132.2019.07> <https://elibrary.ru/wmwqjq>
- Atay N., Atay E., Kunter B., Kantoglu Y., Kaplan N. Determination of optimal mutagen dosage and its effects on morpho-agronomic traits in putative mutants of 'Amasya' apple. *Genetika*. 2019;(51):629–639. <https://doi.org/10.2298/GENSR1902629A>
- Новик Н.В., Гераськин С.А., Якуб И.А. Влияние γ -облучения семян на внутрисортную изменчивость количественных признаков люпина желтого. *Радиационная биология. Радиозкология*. 2022;62(6):620-628. <https://doi.org/10.31857/S086980312206008X> <https://elibrary.ru/xisbra>
- Coretchi L., Lupascu G., Volosciuc L., Cliciuc D., Bondarenko E., Kantoglu Y. Chapter 15 - Molecular genetic aspects of the resistance of *Cicer arietinum* L. mutant genotypes to fusariosis. In: Tomlekova N.B., Kozgar M.I., Wani M.R. (Eds), *Mutagenesis: exploring novel genes and pathways*. Wageningen academic publishers. 2014:291-306. https://doi.org/10/3920/978-90-8686-787-5_15
- Кобозева Т.П. Использование радиационного мутагенеза в создании исходных форм для селекции сои. М., 1990. <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01000032709?page=1&rotate=0&theme=white>
- Mejri S., Mabrouk Y., Belhadj O., Saidi M. Orobanchae foetida resistance in two new faba bean genotypes produced by radiation mutagenesis. *Int J Radiat Biol*. 2018Jul;94(7):671-677.

<https://doi.org/10.1080/09553002.2018.1486517>

7. Nurmansyah, Alghamdi S.S., Migdadi H.M., Farooq M. Novel inflorescence architecture in gamma radiation-induced faba bean mutant populations. *Int J Radiat Biol.* 2019Dec;95(12):1744-1751.

<https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1665205>

8. Бут Н.Н. Состояние селекционной работы с фасолью овощной и лущильной на Кубани. *Зернобобовые и крупяные культуры.* 2014;4(12):83-86. <https://elibrary.ru/tcefoz>

9. Коцюбинская О.А., Бондаренко Е.В., Казыдуб Н.Г., Блинова Я.А. Влияние гамма-облучения семян на развитие растений *Phaseolus vulgaris* L. *Овощи России.* 2025;(1):37-44.

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-1-37-44>

<https://elibrary.ru/tqvkxr>

10. Казыдуб Н.Г., Коцюбинская О.А., Коваленко А.Н. Агроэкологический паспорт сорта фасоли овощной Маруся. *Овощи России.* 2022;(1):39-45.

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-39-45>

<https://elibrary.ru/clijzz>

11. Коцюбинская О.А., Казыдуб Н.Г., Антошкин А.А. Продуктивность сортов фасоли овощной селекции Омского ГАУ в южной лесостепи Западной Сибири. *Овощи России.* 2020;(1):64-69.

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-1-64-69>

<https://elibrary.ru/byscfm>

12. Коцюбинская О.А., Казыдуб Н.Г. Экологическая пластичность и стабильность новых сортов фасоли овощной селекции Омского ГАУ при разных сроках посева в южной лесостепи Западной Сибири. *Известия ФНЦО.* 2023;(2):33-40. <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2023-2-33-40> <https://elibrary.ru/pzpkbq>

13. Shu Q.Y., Forster B.P., Nakagawa H. Plant mutation breeding and biotechnology. Cambridge, Mass: CABI International; 2012. 608 p.

14. Балашова И.Т., Козарь Е.Г. Определение жизнеспособности пыльцы культуры фасоль. М., 2010.

15. Spencer-Lopes M.M., Forster B.P., Jankuloski L. Manual on Mutation Breeding. THIRD EDITION. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy, Vienna, Austria. 2018. 301 p.

16. Pinto M.E., Edwards G.E., Riquelme A.A., Ku M.S.B. Enhancement of nodulation in bean (*Phaseolus vulgaris*) by UV-B irradiation. *FunctPlantBiol.* 2002Oct;29(10):1189-1196.

<https://doi.org/10.1071/FP02012>

• References

1. Smykov A.V. Radiation mutagenesis and variability of peach. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden.* 2019;(132):60-67. (in Russ.) <https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.132.2019.07> <https://elibrary.ru/wmwqiq>

2. Atay N., Atay E., Kunter B., Kantoglu Y., Kaplan N. Determination of optimal mutagen dosage and its effects on morpho-agronomic traits in putative mutants of 'Amasya' apple. *Genetika.* 2019;(51):629-639. (in Russ.) <https://doi.org/10.2298/GENSR1902629A>

3. Novik N.V., Geraskin S.A., Yakub I.A. The effect of gamma irradiation of seeds on the intra-variety variability of quantitative signs of yellow lupine. *Radiation biology. Radioecology.* 2022;62(6):620-628. (in Russ.)

<https://doi.org/10.31857/S086980312206008X> <https://elibrary.ru/xisbra>

4. Coretchi L., Lupascu G., Volosciuc L., Cliciuc D., Bondarenko E., Kantoglu Y. Chapter 15 - Molecular genetic aspects of the resistance of *Cicer arietinum* L. mutant genotypes to fusariosis. In: Tomlekova N.B., Kozgar M.I., Wani M.R. (Eds), *Mutagenesis: exploring novel genes and pathways.* Wageningen academic publishers. 2014:291-306.

https://doi.org/10.3920/978-90-8686-787-5_15

5. Kobozeva T.P. Use of radiation mutagenesis in the creation of initial forms for soybean breeding. Moscow, 1990. (in Russ.) [https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01000032709?page=1&rotate=0&theme=white\(in Russian\)](https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01000032709?page=1&rotate=0&theme=white(in Russian))

6. Mejri S., Mabrouk Y., Belhadj O., Saidi M. Orobanchae foetida resistance in two new faba bean genotypes produced by radiation mutagenesis. *Int J Radiat Biol.* 2018 Jul;94(7):671-677.

doi: 10.1080/09553002.2018.1486517

7. Nurmansyah, Alghamdi S.S., Migdadi H.M., Farooq M. Novel inflorescence architecture in gamma radiation-induced faba bean mutant populations. *Int J Radiat Biol.* 2019Dec;95(12):1744-1751.

<https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1665205>

8. But N.N. The state of selection work with vegetable and shelling beans in Kuban. *Grain Legumes and groat crops.* 2014;4(12):83-86. (in Russ.) <https://elibrary.ru/tcefoz>

9. Kotsyubinskaya O.A., Bondarenko E.V., Kazydub N.G., Blinova Ya.A. Effect of gamma irradiation of seeds on the development of *Phaseolus vulgaris* L. plants. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(1):37-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-1-37-44> <https://elibrary.ru/tqvkxr>

10. Kazydub N.G., Kotsyubinskaya O.A., Kovalenko A.N. Agroecological passport of the Marusya green bean variety. *Vegetable crops of Russia.* 2022;(1):39-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-39-45> <https://elibrary.ru/clijzz>

11. Kotsyubinskaya O.A., Kazydub N.G., Antoshkin A.A. The productivity of common beans vegetable selection Omsk State Agrarian University in southern forest-steppe of Western Siberia. *Vegetable crops of Russia.* 2020;(1):64-69. (In Russ.)

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-1-64-69>

<https://elibrary.ru/byscfm>

12. Kotsyubinskaya O.A., Kazydub N.G. Ecological plasticity and stability of new bean varieties bred by Omsk State Agrarian University at different sowing dates in the southern forest-steppe of Western Siberia. *News of FSVC.* 2023;(2):33-40. (in Russ.) <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2023-2-33-40> <https://elibrary.ru/pzpkbq>

13. Shu Q.Y., Forster B.P., Nakagawa H. Plant mutation breeding and biotechnology. Cambridge, Mass: CABI International; 2012. 608 p.

14. Balashova I.T., Kozar E.G. Determination of the viability of bean crop pollen. M., 2010. (In Russ.)

15. Spencer-Lopes M.M., Forster B.P., Jankuloski L. Manual on Mutation Breeding. THIRD EDITION. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy, Vienna, Austria. 2018. 301 p.

16. Pinto M.E., Edwards G.E., Riquelme A.A., Ku M.S.B. Enhancement of nodulation in bean (*Phaseolus vulgaris*) by UV-B irradiation. *FunctPlantBiol.* 2002Oct;29(10):1189-1196.

<https://doi.org/10.1071/FP02012>

Об авторах:

Ольга Андреевна Коцюбинская – кандидат с.-х. наук, старший преподаватель кафедры садоводства, лесного хозяйства и защиты растений, <https://orcid.org/0000-0003-1479-772X>, Scopus ID 57197765715, SPIN-код: 9266-8577, автор для переписки, oa.kotsyubinskaya@omgau.org

Бондаренко Екатерина Валерьевна – кандидат биол. наук, зав. лаборатории молекулярно-клеточных основ сельскохозяйственной радиобиологии, <https://orcid.org/0000-0002-7937-3824>, Scopus ID 57200545555, SPIN-код: 6141-9343, bondarenco.e@gmail.com

Казыдуб Нина Григорьевна – доктор с.-х. наук, профессор кафедры садоводства, лесного хозяйства и защиты растений, <https://orcid.org/0000-0002-2234-9647>, Scopus ID 571962559502, SPIN-код: 8100-7068, ng.kazydub@omgau.org

Блинова Яна Александровна – младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-клеточных основ сельскохозяйственной радиобиологии, <https://orcid.org/0000-0002-3670-5876>, Scopus ID 57976163900, SPIN-код: 6965-5837, yana.manuhina@yandex.ru

About the Authors:

Olga A. Kotsyubinskaya – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Lecturer at the Department of Horticulture, Forestry, and Plant Protection, <https://orcid.org/0000-0003-1479-772X>, Scopus ID 57197765715, SPIN-code: 9266-8577, Corresponding Author, oa.kotsyubinskaya@omgau.org

Ekaterina V. Bondarenko – Cand. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of Molecular and Cellular Foundations of Agricultural Radiobiology, <https://orcid.org/0000-0002-7937-3824>, Scopus ID 57200545555, SPIN-code: 6141-9343, bondarenco.e@gmail.com

Nina G. Kazydub – Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Horticulture, Forestry, and Plant Protection, <https://orcid.org/0000-0002-2234-9647>, Scopus ID 571962559502, SPIN-code: 8100-7068, ng.kazydub@omgau.org

Yana A. Blinova – Junior Researcher Fellow at the Laboratory of Molecular and Cellular Foundations of Agricultural Radiobiology, <https://orcid.org/0000-0002-3670-5876>, Scopus ID 57976163900, SPIN-code: 6965-5837, yana.manuhina@yandex.ru