

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ В ПОПУЛЯЦИЯХ М1 И М2 ФАСОЛИ ЗЕРНОВОЙ ПОСЛЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН

О.А. Коцюбинская¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры садоводства, лесного хозяйства и защиты растений, oa.kotsyubinskaya@omgau.org, ORCID 0000-0003-1479-772X;

Е.В. Бондаренко², кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела радиационных и генетических технологий в растениеводстве, bev_1408@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7937-3824;

Н.Г. Казыдуб¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры садоводства, лесного хозяйства и защиты растений, ORCID 0000-0002-2234-9647;

Я.А. Блинова², младший научный сотрудник отдела радиационных и генетических технологий в растениеводстве, yana.manuhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3670-5876.

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, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1.

Выведение новых урожайных и устойчивых к различным факторам сортов фасоли зерновой остается актуальной задачей для удовлетворения потребностей рынка в высококачественном растительном белке. Одним из мощных инструментов увеличения генетического разнообразия селекционного материала является радиационный мутагенез, эффективность которого зависит от выбранной дозы излучения. Целью исследования является выявление изменений в морфометрических показателях растений, развитии клубеньков и прорастании пыльцы фасоли зерновой после γ -облучения семян в дозах 25, 50 и 75 Гр для подбора оптимальной для радиационного мутагенеза дозы. Два новых сорта фасоли обыкновенной зерновой селекции Омского ГАУ – Омский Рубин и Лыдинка, γ -облученные в дозах 25, 50 и 75 Гр в трех повторностях (популяции М1) и семена второго поколения после облучения в дозе 50 Гр сорта Омский Рубин (популяция М2) высеяны в поле для оценки морфометрических показателей (высота растения, длина боба, прикрепление нижнего боба, расстояние от кончика нижнего боба до почвы, число бобов у растения, число семян в бобе, число семян с растения, масса семян с растения), длительности фаз развития, числа и массы клубеньков, содержания железа, цинка, кальция и белка, а также для оценки прорастания пыльцевых зерен. Статистическую обработку выполняли по критерию Крускала-Уоллеса с апостериорным тестом Данна или по тесту Манна-Уитни. Выявлено, что облучение семян отрицательно влияет на морфометрические показатели (длина боба, число семян в бобе, число семян с растения, масса семян) и на продолжительность фаз развития популяции М1 и на развитие клубеньков у растений сорта Омский Рубин, и положительно – на число и массу мелких клубеньков у сорта Лыдинка. М2 растения сорта Омский Рубин с более высокими показателями урожайности (число бобов, масса семян), по сравнению с родительским сортом, будут рекомендованы в селекционный процесс. Для протокола радиационного мутагенеза фасоли зерновой рекомендуется доза 50 Гр.

Ключевые слова: фасоль обыкновенная зерновая, радиационный мутагенез, ионизирующее излучение, развитие клубеньков.

Для цитирования: Коцюбинская О.А., Бондаренко Е.В., Казыдуб Н.Г., Блинова Я.А. Морфометрические показатели растений в популяциях М1 и М2 фасоли зерновой после гамма-облучения семян // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18. №1. С.42-49. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-102-1-42-49



MORPHOMETRIC PARAMETERS OF PLANTS IN BEAN POPULATIONS M1 AND M2 AFTER GAMMA IRRADIATION OF BEANS

O.A. Kotsyubinskaya¹, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of the department of horticulture, forestry, and plant protection, oa.kotsyubinskaya@omgau.org, ORCID 0000-0003-1479-772X;

E.V. Bondarenko², Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the department of radiation and genetic technologies in plant growing, bev_1408@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7937-3824;

N.G. Kazydub¹, Doctor of Agricultural Sciences, professor of the department of horticulture, forestry, and plant protection, ORCID 0000-0002-2234-9647;

Ya.A. Blinova², junior researcher of the department of radiation and genetic technologies in plant growing, yana.manuhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3670-5876.

¹FSBEI HE "Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin" (Omsk SAU), 644008, Omsk region, Omsk, Institutskaya Sq. 1;

²FSBI "All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology of the National Research Center "Kurchatov Institute", 249035, Kaluga region, Obninsk, Kyiv highway, 1, bldg. 1.

Breeding new productive, tolerant bean varieties remains an urgent issue to meet market demand for high-quality plant protein. One powerful tool for increasing the genetic diversity of breeding material is radiation mutagenesis, the effectiveness of which depends on the selected radiation dose. The purpose of the current study was to identify changes in the morphometric parameters of plants, the development of nodules and the germination of bean pollen after γ -irradiation of seeds at doses of 25, 50 and 75 Gy in order to select the optimal dose for radiation mutagenesis. There have been sown two new common bean varieties Omsky Rubin and L'dinka developed by the Omsk SAU, γ -irradiated at doses of 25, 50 and 75 Gy in three replicates (populations M1) and the beans of the second generation of the variety Omsky Rubin (population M2), irradiated at a dose of 50 Gy in order to estimate morphometric parameters, such as plant height, pod length, attachment of a lower pod, distance from a lower pod tip to soil, number of pods per plant, number of beans per pod, number of beans per plant, weight of beans per plant; length of development phases, number and weight of nodules, content of iron, zinc, calcium and protein, as well as to evaluate the germination of pollen grains. Statistical analysis was performed using the Kruskal–Wallis H test with Dunn's multiple comparison test or the Mann–Whitney U test. There has been found that seed irradiation negatively affects morphometric parameters, such as pod length, number of beans per pod, number of beans per plant, and weight of beans; the length of development phases of the M1 population, and nodule development of the variety Omsky Rubin, while it had a positive effect on the number and weight of small nodules of the variety L'dinka. M2 plants of the variety Omsky Rubin, with higher indicators of productivity (number of pods, weight of beans) compared to the parent variety, will be recommended for breeding. For the radiation mutagenesis protocol of common beans there has been recommended a dose of 50 Gy.

Keywords: common bean, radiation mutagenesis, ionizing radiation, nodule development.

Введение. В организации рационального питания и повышения пищевой ценности продуктов большое значение имеют зернобобовые культуры, являющиеся жизненно важным источником аминокислот, растительного белка, макро- и микроэлементов, витаминов, которые считаются необходимой составляющей продуктовой корзины каждого человека. В связи с этим весьма актуальна и перспективна селекция и семеноводство бобовых и овощных культур. Благодаря высокой биологической и технологической ценности, фасоль находит применение в качестве специфических добавок в хлебопекарной, макаронной, кондитерской и других отраслях пищевой промышленности. Из нее получают ряд медицинских препаратов. Зерно фасоли хранится долго без потери своих ценных качеств, легко транспортируется, что способствует пополнению запасов биологически полноценных, здоровых, функциональных продуктов питания для населения и обеспечивает продовольственную безопасность страны. Преимущества фасоли, как и других зерновых бобовых, перед культурами семейства Мятликовые заключается в том, что они производят на единице площади больше белка с повышенным качеством и усвояемостью, а также являются важным средообразующим звеном, от которого зависит баланс органического вещества в почве.

Выведение новых высококачественных, урожайных и адаптированных к различным почвенно-климатическим условиям сортов фасоли остается актуальной задачей для удовлетворения растущих потребностей внутреннего рынка и повышения конкурентоспособности отечественных сортов. Одним из мощ-

ных инструментов увеличения генетического разнообразия селекционного материала является радиационный мутагенез (Ntsomboh Ntsefong et al., 2023). Несмотря на развитие генно-инженерных технологий, методов редактирования целевых генов, повышение разнообразия зародышевой плазмы посредством мутаций по-прежнему незаменимо в современной и классической радиационной селекции, поскольку повышает вероятность возникновения случайных мутаций во всем геноме (Ma et al., 2021). Эффективность радиационной селекции зависит от тщательно подобранной дозы ионизирующего излучения, при которой мутагенная нагрузка не приводит к гибели растений или стерильности, сохраняя возможность передачи следующему поколению потенциальных изменений в геноме (Ntsomboh Ntsefong et al., 2023).

В пилотном эксперименте (Коцюбинская и др., 2025а) изучено влияние γ -облучения семян (в дозах 50, 100 и 200 Гр) на всхожесть, морфометрические параметры и продолжительность фаз отечественных сортов фасоли. Обнаружено, что γ -облучение во всех применимых дозах статистически значимо ингибировало развитие корней, а дозы 100 и 200 Гр оказались летальны. Целью данного исследования является выявление изменений в морфометрических показателях растений, развитии клубеньков и прорастании пыльцы фасоли зерновой после γ -облучения семян в дозах 25, 50 и 75 Гр для подбора оптимальной для радиационного мутагенеза дозы.

Материалы и методы исследований. В качестве объекта исследования использовали 2 новых сорта фасоли обыкновенной зерновой селекции Омского

ГАУ: Омский Рубин (среднеспелый сорт, включен в Государственный реестр селекционных достижений в 2025 г.) и Лыдинка (среднеспелый сорт, устойчивый к антракнозу; включен в Государственный реестр в 2024 г.).

Сухие семена (урожай 2023 г.) сортов фасоли подверглись γ -облучению (в мае 2024 г.) на уникальной научной установке ГУР-120 (источник – ^{60}Co , 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 (Shu et al., 2012) и по результатам пилотного лабораторного исследования (Коцюбинская и др., 2025а). 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 Омский Рубин (необлученные). В поле были также высеяны необлученные семена М2 сорта Омский Рубин, полученные с растений, выросших из облученных в дозе 50 Гр семян пилотно эксперимента (Коцюбинская и др., 2025а).

В ходе исследования оценивали морфометрические показатели, связанные с урожайностью (высота растения, см; длина боба, см; прикрепление нижнего боба, см; расстояние от кончика нижнего 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, 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 Лыдинка). В варианте облучения 75 Гр из высеянных 105 семян возшло и развилось 21 растения сорта Омский Рубин и 15 растений Лыдинка, поэтому симбиотическую активность у этих экспериментальных групп не определяли.

Во время массового цветения растений сорта Лыдинка в первой декаде июля проводили сбор пыльцы из 10-15-цати цветков каждой экспериментальной группы. Цитоморфологический анализ выполняли с помощью микроскопа Мископ с цифровой камерой Canon A560. 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 (Балашова и Козарь, 2010).

Биохимический анализ семян определяли в сертифицированной лаборатории Омского филиала ФГБУ «Центр оценки качества зерна» по: 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 применения непараметрических подходов 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). Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$. Сравнение данных в описании результатов приведены в виде медианы и межквартильного размаха (Me [IQR]). НСП05 рассчитывали по методике Доспехова.

Результаты и их обсуждение. У растений, выросших из облученных семян (популяция М1), ожидаемо отмечено статистически значимое снижение некоторых морфометрических показателей: длина боба у сорта Омский Рубин, число семян в бобе у обоих сортов при облучении в дозе 75 Гр и у Лыдинки в дозе 50 Гр, число семян с растения, сопровождаемое уменьшением массы семян с растения у сорта Лыдинка в группе облучения 25 Гр (табл. 1). У сорта Лыдинка зарегистрировано увеличение высоты растения и расстояния от кончика нижнего боба до почвы (табл. 1).

Таблица 1. Связанные с урожайностью морфометрические показатели растений фасоли зерновой после гамма-облучения семян (Me [IQR])
Table 1. Productivity-related morphometric parameters of common bean plants after gamma irradiation of beans (Me [IQR])

Параметр	Доза, Гр	Омский Рубин	Льдинка
Высота растения, см	0	90,0[42,0] #	35,5 [5,5] #
	25	91,0 [39,8]	41,0 [10,0]
	50	82,0 [37,0]	48,0 [9,0]*
	75	92,0 [50,0]	43,0 [6,5]
Длина боба, см	0	11,0 [1,0]	11 [2,0]
	25	9,0 [1,8]*	10 [2,0]
	50	9,0 [2,0]*	10,5 [3,0]
	75	9,0 [2,0]*	10,0 [2,5]
Прикрепление нижнего боба, см	0	13,0 [12,0]	13,5 [3,0]
	25	15,5 [4,8]	15,0 [7,0]
	50	13,0 [7,0]	13,0 [6,0]
	75	15,0 [6,0]	16,0 [6,5]
Расстояние от кончика нижнего боба до почвы, см	0	3,0 [1,0]	4,0 [2,3]
	25	6,0 [3,8]	7,0 [6,0]*
	50	8,0 [7,0]	5,5 [7,0]
	75	7,0 [5,0]	8,0 [8,0]^(p=0,056)
Число бобов на растении, шт.	0	46,5 [56,0] #	21,5 [13,3] #
	25	29,0 [37,0]	13,0 [10,0]
	50	37,0 [44,0]	15,0 [9,3]
	75	57,0 [83,5]	20,0 [14,5]
Число семян в бобе, шт.	0	3,7 [1,4]	3,9 [0,8]
	25	4,2 [1,5]	3,2 [1,4]
	50	3,5 [0,8]	3,1 [0,9]*
	75	2,5 [1,3]*	2,6 [1,4]*
Число семян с растения, шт.	0	170,5 [175,8] #	137,0 [68,0] #
	25	110,5 [163,5]	75,0 [34,0]*
	50	138,0 [181,0]	73,0 [23,3]
	75	129,0 [209,0]	139,0 [53,0]
Масса семян с растения, г	0	43,3 [53,9]	24,3 [21,7]
	25	34,5 [49,1]	14,8 [12,7]^(p=0,063)
	50	36,5 [45,4]	19,1 [10,5]
	75	23,4 [48,6]	20,8 [17,4]

Примечание. Данные представлены в виде Me [IQR] = медиана и межквартильный размах. *Статистически значимые различия от контроля (0 Гр) того же сорта при $p \leq 0,05$ (критерий Крускала-Уоллеса с апостериорным тестом Данна с поправкой на множественность FDR). #Статистически значимые различия между сортами в контроле при $p \leq 0,05$. ^Различия от контроля (0 Гр) того же сорта на уровне статистической тенденции ($0,05 < p < 0,065$).

Note. Data are presented as Me [IQR] = median and interquartile range. *Statistically significant differences from the control (0 Gy) of the same variety at $p \leq 0.05$ (Kruskal-Wallis test with Dunn's post hoc test with FDR multiplicity correction). #Statistically significant differences between varieties in the control at $p \leq 0.05$. ^Differences from the control (0 Gy) of the same variety at the level of statistical tendency ($0.05 < p < 0.065$).

Оценка длительности фаз развития выявила более ранние всходы в группах семян сорта Омский Рубин, облученных в дозах 25 и 50 Гр, по сравнению с контролем (на 2 дня раньше, рис. 1). В дальнейшем облученные растения этого сорта развивались мед-

леннее необлученных (рис. 1), образовав бобы на 3-8 дней позже контрольной группы. У сорта Льдинка отмечена обратная ситуация: облученные семена вошли позже необлученных, в дальнейшем сравнивая скорость развития с контрольной группой (рис. 1).

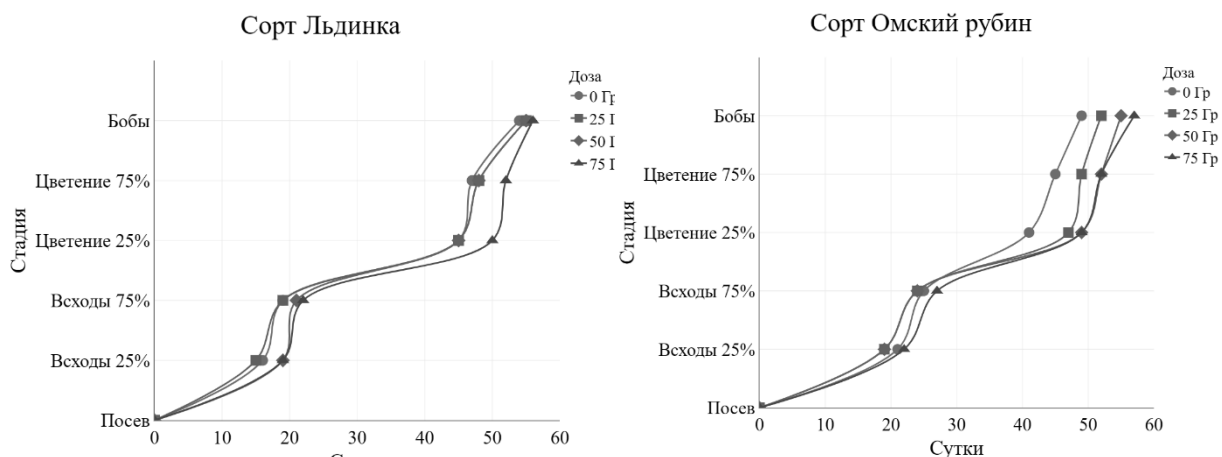


Рис. 1. Длительность основных фаз развития (всходы, цветение, образование бобов) фасоли зерновой после γ -облучения семян в дозах 25, 50 и 75 Гр. Ось X – сутки, ось Y – стадия развития

Fig. 1. Length of the main development phases (sprouting, flowering, pod formation) of common bean after γ -irradiation of beans at doses of 25, 50, and 75 Gy. Axis X – day, Axis Y – development stage

С растений сорта Льдинка в группах облучения 50 и 75 Гр были получены семена с измененным окрасом (рис. 2), что свидетельствует об индукции мутаций в генной области.



Рис. 2. Семена фасоли зерновой сорта Льдинка (M2), образованные на растениях (M1, 2024 г.) после γ -облучения семян в дозах А) 50 Гр и В) 75 Гр

Fig. 2. Seeds of grain beans of the L'dinka variety (M2), formed on plants (M1, 2024) after γ -irradiation of seeds at doses of A) 50 Gy and B) 75 Gy

Облучение семян отрицательно сказалось на развитии клубеньков у растений сорта Омский Рубин и положительно повлияло на число и массу мелких клубеньков у фасоли сорта Льдинка, особенно в группе облучения в дозе 25 Гр (таб. 2).

Таблица 2. Число и масса крупных и мелких клубеньков в фазу цветения - начало образования бобов у растений фасоли зерновой после гамма-облучения семян (Me [IQR])
Table 2. Number and weight of large and small nodules during the flowering phase – the beginning of pod formation in common bean plants after gamma irradiation of beans (Me [IQR])

Параметр	Доза, Гр	Омский Рубин	Льдинка
Число крупных клубеньков, шт.	0	2 [0]	2 [2]
	25	2 [1]	2 [0]
	50	0 [1]*	1 [3]
Масса крупных клубеньков, г	0	0,04 [0,01]	0,02 [0,01]
	25	0,04 [0,03]	0,02 [0,01]
	50	0 [0,02]*	0,02 [0,02]
Число мелких клубеньков, шт.	0	29 [8]	8 [5]
	25	15 [10]*	30 [10]*
	50	17 [14] (p=0,07)	13 [5]
Масса мелких клубеньков, г	0	0,22 [0,03]	0,12 [0,05]
	25	0,12 [0,08]*	0,25 [0,10]*
	50	0,10 [0,06]*	0,20 [0,05] (p=0,07)

*Примечание. Данные представлены в виде Me [IQR] = медиана и межквартильный размах. *Статистически значимые различия от контроля (0 Гр) того же сорта при $p \leq 0,05$ (тест Манна-Уитни).*

*Note. Data are presented as Me [IQR] = median and interquartile range. *Statistically significant differences from the control (0 Gy) of the same variety at $p \leq 0.05$ (Mann-Whitney test).*

Ранее было показано, что более выраженное развитие клубеньков у растений фасоли овощной сорта Маруса после облучения семян в дозе 50 Гр может быть связано с более ранним цветением и образованием бобов, по сравнению с контролем (Коцюбинская и др., 2025б).

Анализ жизнеспособности и фертильности пыльцы в 10-15-цати зрелых цветах фасоли сорта Льдинка из разных групп облучения в сравнении с контрольным вариантом показал прорастание 98% пыльцевых зерен в группе облучения в дозе 25 Гр, 90-92% пыльцевых зерен – у растений, облученных в дозе 50 Гр и стерильность пыльцы в группе облучения 75 Гр (рис. 3).

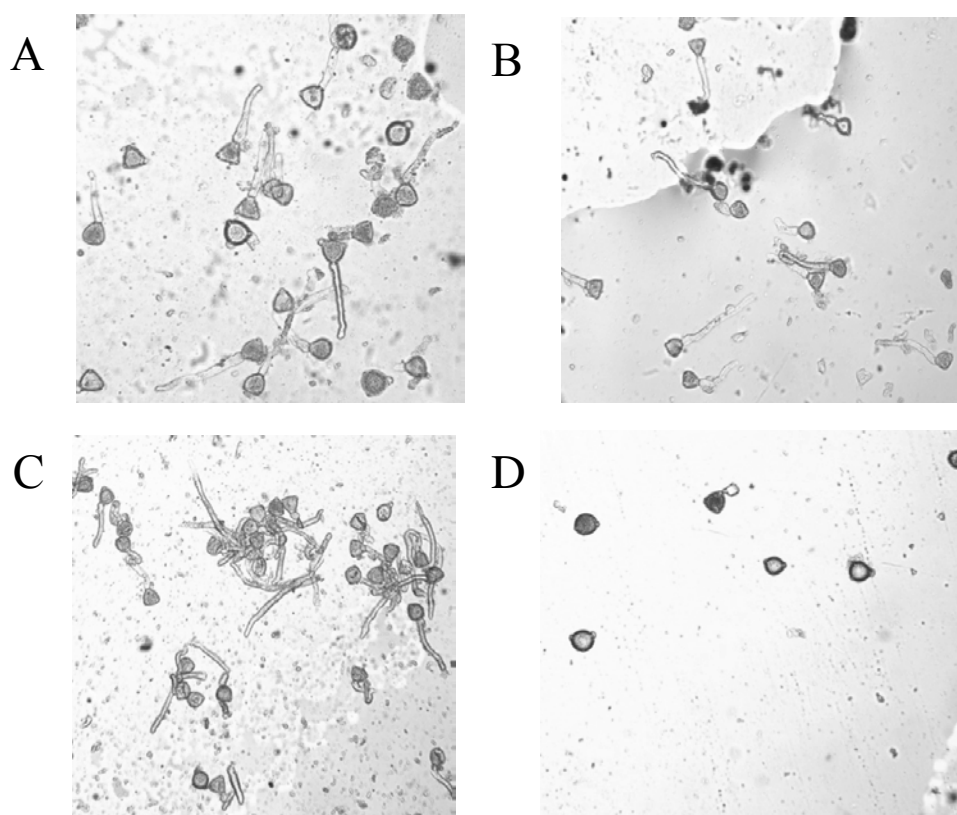


Рис. 3. Жизнеспособность пыльцы сорта Льдинка (представлены наиболее показательные фото). А) Контроль; В) Группа облучения в дозе 25 Гр; С) Группа облучения в дозе 50 Гр; D) Группа облучения в дозе 75 Гр.

Fig. 3. Pollen viability of the variety L'dinka (the most representative photos).

A) Control; B) Group of irradiation at a dose of 25 Gy; C) Group of irradiation at a dose of 50 Gy; D) Group of irradiation at a dose of 75 Gy

Пищевая ценность фасоли зерновой зависит от химического состава семян. В семенах, собранных в фазу полной спелости, содержание железа и цинка было ниже предела обнаружения прибора (таб. 3). Облучение повлияло на массовую долю кальция, сни-

жив его по отношению к контролю (за исключением группы 75 Гр Омского Рубина), и почти не отобразилось на содержании белка у растений обоих сортов ((за исключением группы 25 Гр Омского Рубина, таб. 3).

Таблица 3. Среднее содержание Fe, Zn, Ca и белка в зеленых бобах фасоли овощной после γ -облучения семян

Table 3. Average content of Fe, Zn, Ca, and protein in green beans of the common bean variety Omsky Rubin after γ -irradiation

Сорт	доза, Гр	железо млн ⁻¹	цинк млн ⁻¹	кальций, %	белок, %
Омский Рубин	0	<1,0	<0,5	0,12	24,49
	25	<1,0	<0,5	0,10*	21,64*
	50	<1,0	<0,5	0,11	25,03
	75	<1,0	<0,5	0,14*	23,55
	НСР ₀₅			0,01	2,36
Льдинка	0	<1,0	<0,5	0,20	21,56
	25	<1,0	<0,5	0,20	22,21
	50	<1,0	<0,5	0,13*	23,58
	75	<1,0	<0,5	0,13*	23,41
	НСР ₀₅			0,01	2,20

Примечание. *Статистически значимые различия от контроля (0 Гр) того же сорта.

Note. *Statistically significant differences from the control (0 Gy) of the same variety

У растений M2 сорта Омский Рубин, выросших из необлученных семян, полученных в лабораторном эксперименте по γ -облучению в дозе 50 Гр трех сортов *Phaseolus vulgaris* L. селекции Омского ГАУ (Коцюбин-

ская и др., 2025а), была выявлена статистически значимо меньшая длина боба, но значимо более высокие показатели числа бобов с растения и массы семян с растения (рис. 4).

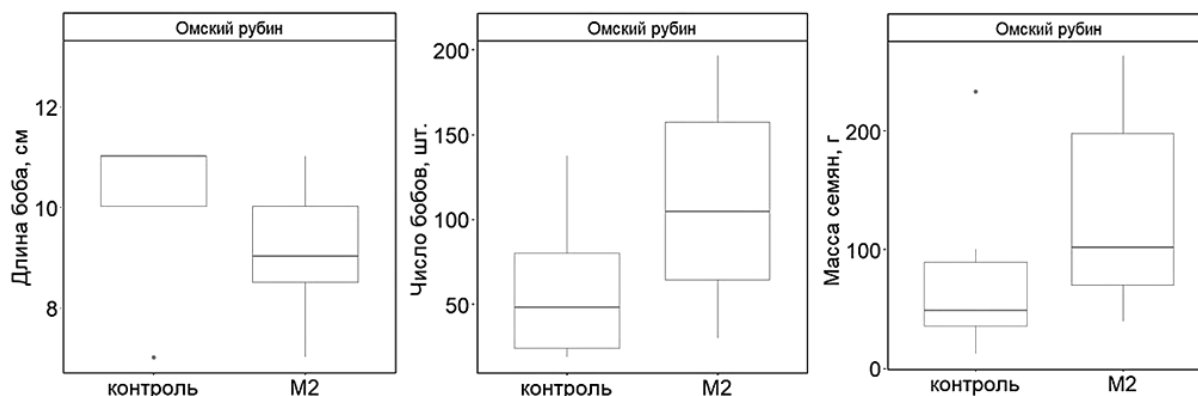


Рис.4. Морфометрические показатели растений M2 фасоли зерновой сорта Омский Рубин со статистически значимым различием с контролем (тест Манна-Уитни, $p \leq 0,05$). M2 – второе поколение после облучения в дозе 50 Гр; контроль – растения из необлученных семян.

Fig. 4. Morphometric parameters of M2 plants of the common bean variety Omsky Rubin with statistically significant differences from the control (Mann-Whitney U test, $p \leq 0.05$).

M2 – second generation after irradiation with 50 Gy; control – plants from unirradiated beans.

Положительное влияние γ -облучения семян на урожайность растений в поколении M2 было также отмечено у фасоли овощной (Коцюбинская и др., 2025б) и люпина желтого (Новик и др., 2022).

Выводы. В полевых условиях в поколении M1 облучение семян сортов фасоли зерновой отрицательно

влияет на морфометрические показатели (длина боба, число семян в бобе, число семян с растения, масса семян) и на продолжительность фаз развития.

Облучение семян отрицательно сказалось на развитии клубеньков у растений сорта Омский Рубин и

положительно повлияло на число и массу мелких клубеньков у фасоли сорта Лыдинка.

В полевых условиях у М2 растений сорта Омский Рубин (второе поколение после облучения семян в дозе 50 Гр) выявлены более высокие показатели числа бобов с растения (103±24 шт.) и массы семян с растения (96±32 г), по сравнению с родительским сортом (46±11 шт. и 43±17 г, соответственно). М2 генотипы будут использованы в дальнейшем селекционном процессе.

В результате анализа изменений в морфометрических показателях растений, развитии клубеньков и прорастании пыльцы фасоли зерновой после

γ-облучения семян в дозах 25, 50 и 75 Гр, для протокола радиационного мутагенеза фасоли зерновой рекомендуется доза 50 Гр.

Финансирование. Исследования были проведены в рамках реализации программы грантов АО «РОС-СЕЛЬХОЗБАНК» 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».

Библиографический список

1. Балашова И.Т., Козарь Е.Г. Определение жизнеспособности пыльцы культуры фасоль // ВНИИССОК, Москва, 2010
2. 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. С. 37–44. DOI: 10.18619/2072-9146-2025-1-37-44
3. 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. С. 5–10. DOI: 10.18619/2072-9146-2025-4-96-102
4. Новик Н.В., Гераськин С.А., Якуб И. А. Влияние γ-облучения семян на внутрисортную изменчивость количественных признаков люпина желтого // Радиационная биология. Радиоэкология. 2022. Т. 62, № 6. С. 620–628. DOI: 10.31857/S086980312206008X
5. Ma L., Kong F., Sun K., Wang T., Guo T. From Classical Radiation to Modern Radiation: Past, Present, and Future of Radiation Mutation Breeding. *Front Public Health*. 2021. Dec 21; 9:768071. DOI: 10.3389/fpubh.2021.768071
6. Godswill N.N., Fokam P.E., Likeng-Li-Ngue B.C., Tabi M.K., Zambou A. H., Mafouasson H.N., Bell J. M. Gamma Ray Induced Mutagenesis for Crop Improvement: Applications, Advancements, and Challenges // *Intech Open*. 2024. S. 138. DOI: 10.5772/intechopen.1002997
7. Shu Q.Y., Forster B.P., Nakagawa H. *Plant mutation breeding and biotechnology* // Cambridge, Mass: CABI International; 2012. S. 608.

References

1. Balashova I.T., Kozar' E.G. Opredelenie zhiznesposobnosti pyl'tsy kul'tury fasol' [Determining pollen viability in bean crops]// VNISSOK, Moskva, 2010
2. Kotsyubinskaya O.A., Bondarenko E.V., Kazydub N.G., Blinova Ya.A. Vliyanie gamma-oblucheniya semyan na razvitie rastenii *Phaseolus vulgaris* L. [The effect of gamma irradiation of seeds on the development of *Phaseolus vulgaris* L. plants]// Ovoshchi Rossii. 2025. № 1. S. 37–44. DOI: 10.18619/2072-9146-2025-1-37-44
3. Kotsyubinskaya O.A., Bondarenko E.V., Kazydub N.G., Blinova Ya.A. Svyazannye s urozhainost'yu morfometricheskie pokazateli rastenii fasoli ovoshchnoi posle gamma-oblucheniya semyan [Productivity-related morphometric parameters of green bean plants after gamma irradiation of seeds] // Ovoshchi Rossii. 2025. № 4. S. 5–10. DOI: 10.18619/2072-9146-2025-4-96-102
4. Novik N.V., Geras'kin S.A., Yakub I. A. Vliyanie γ-oblucheniya semyan na vnutrisortovuyu izmenchivost' kolichestvennykh priznakov lyupina zheltogo [The effect of γ-irradiation of seeds on intravarietal variability of quantitative traits in yellow lupine] // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. 2022. Vol. 62, № 6. S. 620–628. DOI: 10.31857/S086980312206008X
5. Ma L., Kong F., Sun K., Wang T., Guo T. From Classical Radiation to Modern Radiation: Past, Present, and Future of Radiation Mutation Breeding. *Front Public Health*. 2021. Dec 21; 9:768071. DOI: 10.3389/fpubh.2021.768071
6. Godswill N.N., Fokam P.E., Likeng-Li-Ngue B.C., Tabi M.K., Zambou A. H., Mafouasson H.N., Bell J. M. Gamma Ray Induced Mutagenesis for Crop Improvement: Applications, Advancements, and Challenges // *Intech Open*. 2024. S. 138. DOI: 10.5772/intechopen.1002997
7. Shu Q.Y., Forster B.P., Nakagawa H. *Plant mutation breeding and biotechnology* // Cambridge, Mass: CABI International; 2012. S. 608.

Поступила: 04.08.25; доработана после рецензирования: 16.10.25; принята к публикации: 17.10.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Коцюбинская О.А., Бондаренко Е.В., Казыдуб Н.Г. – концептуализация и ресурсное обеспечение исследования; Коцюбинская О.А. – подготовка опыта; Коцюбинская О.А. – выполнение полевых опытов и сбор данных; Коцюбинская О.А., Бондаренко Е.В., Казыдуб Н.Г., Блинова Я.А. – анализ данных, визуализация и их интерпретация; Коцюбинская О.А., Бондаренко Е.В., Казыдуб Н.Г. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.