

УДК 577.34

ЭФФЕКТЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЯЧМЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО

© 2025 г. Г. А. Атамановская^{а, *}, С. О. Астахина^а, Л. Н. Комарова^а, А. Н. Павлов^б, Т. В. Чиж^б

^аОбнинский институт атомной энергетики, Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Обнинск, Калужская обл., 249039 Россия

^бВсероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Обнинск, Калужская обл., 249032 Россия

*E-mail: GAAtamanovskaya@oiate.ru

Поступила в редакцию 28.04.2023 г.

После доработки 30.05.2023 г.

Принята к публикации 06.06.2023 г.

В работе представлены результаты исследований эффектов гамма-излучения на модельный объект – ячмень обыкновенный трех сортов. Эффекты малых доз ионизирующего излучения представляют интерес в плане выяснения, каким образом формируются стимулирующие рост и развитие эффекты у растений. Многие авторы связывают эффект радиационного гормезиса с увеличением митотической активности, что противоречит более поздним исследованиям других авторов. В данной работе проведено исследование влияния гамма-излучения в стимулирующих дозах на длину ростка и главного корня ячменя обыкновенного, а также на митотический индекс (МИ) в корешках и наличие хромосомных aberrаций (ХА).

Ключевые слова: ячмень, радиационный гормезис, эффекты малых доз ионизирующего излучения, митотический индекс, хромосомные aberrации

DOI: 10.56304/S2079562924050038

ВВЕДЕНИЕ

До сих пор остается не выясненным, какие биологические процессы участвуют в формировании эффекта радиационного гормезиса. Особый интерес для исследователей представляют механизмы формирования так называемых положительных эффектов ионизирующего излучения, проявляющимися в увеличении длины побега и корня у растений [1, 2]. Увеличение клеточного деления – наиболее очевидный ответ на вопрос, за счет чего происходит стимуляция роста и развития растения. Изменения митотической активности считаются важными этапами формирования ответа растения на стрессовые факторы [3].

В связи с этим целью нашего исследования было изучение влияния гамма-излучения в широком диапазоне доз (2–50 Гр) на морфологические показатели и возможные изменения митотической активности в корневой меристеме ячменя обыкновенного.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Облучение семян проводилось на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения “Всероссийский научно-исследова-

тельский институт радиологии и агроэкологии” (г. Обнинск) в дозах 2, 15, 17, 20, 50 Гр. Мощность дозы – 58 Гр/ч. Источник излучения – ⁶⁰Со. Облучение семян проводили в бумажных конвертах, площадью 25 см². В каждом конверте находилось по 30 семян, 3 пакета на каждую дозу гамма-облучения. Радиобиологический эффект зависит не только от поглощенной дозы, но и от распределения данной дозы во времени, то есть от мощности дозы излучения. Мощность дозы была выбрана для получения стимулирующего эффекта на основе более ранних исследований [3–5].

При закладке семян для культивации был выбран метод рулонных культур. Для закладки использовали плотный полиэтилен, кальку, фильтровальную бумагу, стеклянные химические стаканы, объемом 100 мл, дистиллированную воду.

При дальнейшем культивировании рулоны выдерживались в термостате при температуре 24°C в темноте. Для определения митотического индекса и анализа хромосомных aberrаций, в первые сутки проращивания из каждого рулона отбирали часть семян и отрезали корешки, которые помещались в микропробирки типа Эппендорф с уксусным алколем (смесь 96%-го этилового спирта и ледяной уксусной кислоты 3 : 1), хранили в

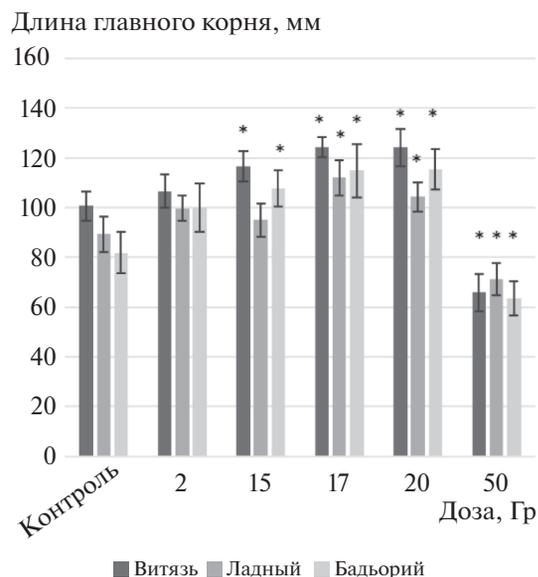


Рис. 1. Зависимость длины побега ячменя от дозы гамма-облучения облученных семян на 7-ые сутки. * – статистически значимое отличие от контроля при $p < 0.05$.

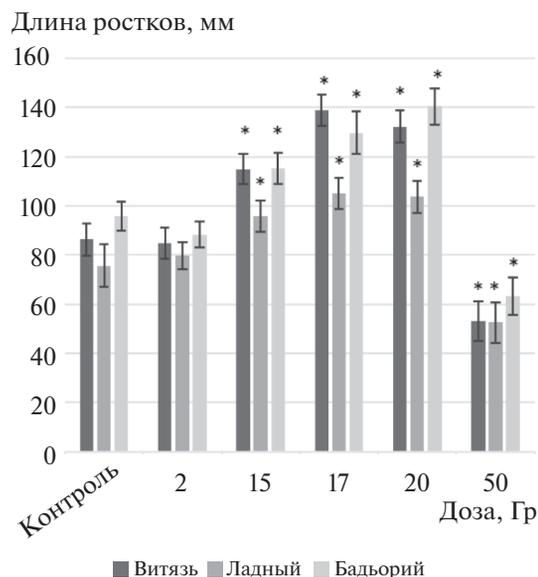


Рис. 2. Зависимость длины главного корня ячменя от дозы гамма-облучения облученных семян на 7-ые сутки. * – статистически значимое отличие от контроля при $p < 0.05$.

холодильнике при 4°C . На следующие сутки уксусный алкоголь заменяли 70% этиловым спиртом и продолжали хранить при той же температуре в холодильнике. На пятые сутки рулонные культуры переносили под фитолампу. На седьмые сутки прорастания измеряли длину ростка и главного корня.

Окрашивание препарата проводилось при помощи ацетокармина. Давленные препараты просматривали под микроскопом при 1000-кратном увеличении. Препараты изучали с помощью светового микроскопа “Микмед-5”. На каждом препарате учитывали общее количество просмотренных клеток и количество делящихся клеток [6].

Митотический индекс (МИ) рассчитывали по формуле (1):

$$\text{МИ} = \frac{\text{П} + \text{М} + \text{А} + \text{Т}}{N} \times 100\%, \quad (1)$$

где П – количество клеток в профазе, М – количество клеток в метафазе, А – количество клеток в анафазе, Т – количество клеток в телофазе, N – количество просмотренных клеток.

Частоту aberrантных клеток (ЧАК) рассчитывали по формуле (2):

$$\text{ЧАК} = \frac{\text{ХА}}{\text{А} + \text{Т}}, \quad (2)$$

где ХА – количество клеток с хромосомными aberrациями, А – количество клеток в анафазе, Т – количество клеток в телофазе.

Оценки стандартных отклонений, стандартных ошибок и доверительных интервалов проводили со

стандартными методами математической статистики. Вычисления проводили с использованием методов математической статистики и компьютерного пакета программ Microsoft Office Excel 2016. В ходе статистической обработки для оценки достоверности различий использовали параметрический критерий Стьюдента при уровне значимости $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование зависимости доза–эффект по показателям “длина корня” и “длина ростка” было выполнено на седьмые сутки прорастания для каждого сорта и каждой дозы гамма-облучения, а также контроля (рис. 1 и 2). При таком диапазоне доз: 2, 15, 17, 20, 50 Гр – была возможность сопоставить стимулирующий и ингибирующий эффекты, а также посмотреть, какая из предполагаемых доз обладает более выраженным эффектом: 15, 17 или 20 Гр.

Исходя из представленных на рис. 1 и 2 результатов, видно, что при облучении семян в дозе 2 Гр не происходит изменения длины проростка или корня по сравнению с контролем, доза в 50 Гр оказывает угнетающее действие: длина побега и корня уменьшается в два раза. Облучение же в стимулирующих дозах – 15, 17 и 20 Гр приводит к увеличению длины проростков и корней у всех трех сортов ячменя. Максимальное увеличение было отмечено при облучении в дозе 17 Гр у сортов Ладный и Витязь и 20 Гр для сорта Бадьорий.

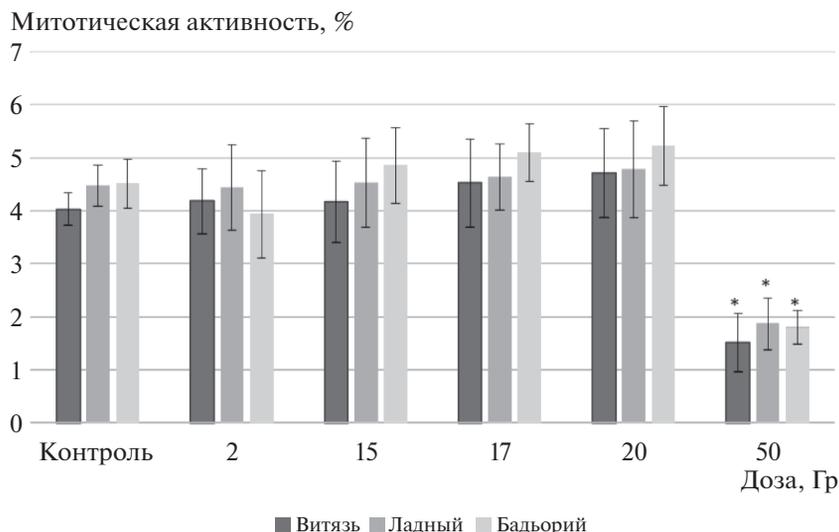


Рис. 3. Зависимость митотического индекса в корневой меристеме ячменя от дозы гамма-облучения семян. * — статистически значимое отличие от контроля при $p < 0.05$.

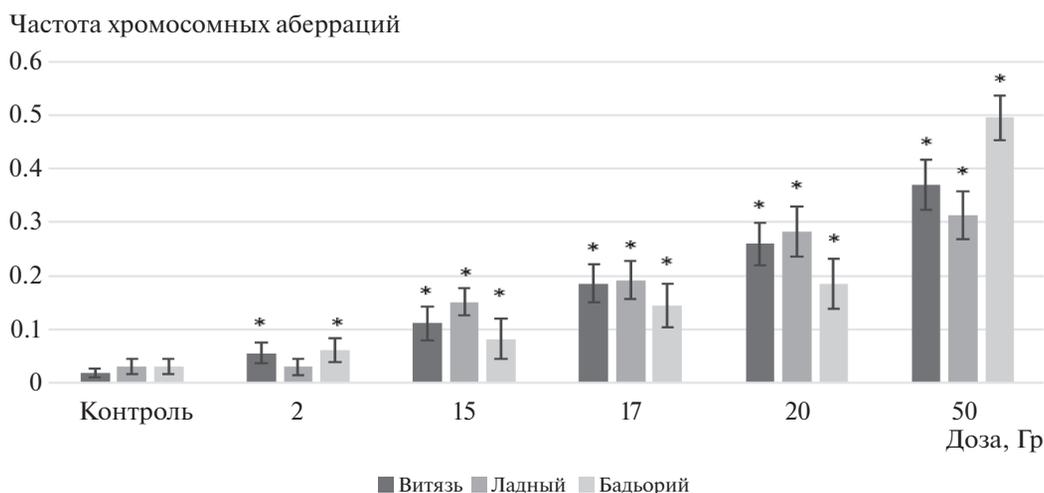


Рис. 4. Зависимость частоты aberrантных клеток в корневой меристеме ячменя от дозы облучения. * — статистически значимое отличие от контроля при $p < 0.05$.

Полученные результаты хорошо согласуются с опубликованными данными, полученными другими исследователями при облучении семян ячменя разных сортов [3, 4].

Из представленной гистограммы (рис. 3) можно увидеть, что нет статистически значимых различий между МИ у контрольных образцов и у облученных семян в дозах 2, 15, 17, 20 Гр для всех трех изучаемых сортов ячменя. Уменьшение митотического индекса наблюдается только для инактивирующей дозы в 50 Гр.

Также было выявлено (рис. 4), что частота клеток с хромосомными aberrациями в меристеме корней ячменя трех сортов возрастает с поглощен-

ной дозой облучения. Максимальная частота хромосомных aberrаций обнаружена в клетках корневой меристемы после облучения в дозах 50 Гр.

Увеличение длины наземного побега и главного корня, наблюдаемое у облученных растений, в сравнении с контрольной группой, следует в таком случае объяснять не через изменения в митотическом индексе, а через растяжения клеток из-за увеличения количества фитогормонов роста — ауксинов [7]. Ранее проведенные исследования изменений в содержании основных фитогормонов у ячменя в ответ на действие гамма-излучения показали, что облучения в дозах 4–20 Гр вызывает увеличение содержание индолил-3-уксус-

ной кислоты (ИУК) в трехдневных проростках и в корешках с четвертого по седьмой день прорастания. Концентрации еще одного гормона – ауксина (индолил-3-масляной кислоты (ИМК)), измеренная в побегах и корнях, высказывала тенденцию к росту, кроме ингибирующей дозы [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из проведенного эксперимента можно сделать вывод, что самой эффективной для стимуляции роста корневой системы и наземного побега ячменя оказывается доза в 17 Гр для сортов Витязь и Ладный. Для сорта Бадьорий наиболее эффективной оказалась доза гамма-облучения в 20 Гр.

Данное исследование также показывает, что стимулирующий эффект гамма-облучения в дозах 15, 17 и 20 Гр, наблюдаемый по изменению морфометрических показателей, не связан со

стимуляцией процессов деления клеток меристемы проростков ячменя обыкновенного.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. *Geras'kin S.A. et al.* // J. Environ. Radioact. 2017. V. 171. P. 71–83.
2. *Gudkov I.N.* Proc. Symp. Agricultural Radiobiology. 1976. Kishinev. P. 33
3. *Volkova P.Yu. et al.* // Radiat. Technol. Agric. Food Industry: Cur. State Prosp. 2018. No. 2. P. 120–124.
4. *Churyukin R.S.* // Radiat. Risk. 2013. V. 22. P. 80–92.
5. *Geras'kin S.A., Churyukin R.S., Volkova P.Yu., Bitarishvili S.V.* // CABI Books. 2021. P. 424–432.
6. *Fiskesjö G.* // Hereditas. 1985. V. 102. P. 99–112.
7. *Du M. et al.* // Ann. Rev. Plant Physiol. 2020. V. 71. P. 379–402.
8. *Bitarishvili S.V. et al.* // Biol. Bull. 2020. V. 47. P. 1558–1563.

Effect of Gamma Radiation on Morphometric and Cytogenetic Parameters in Barley

G. A. Atamanovskaya¹*, S. O. Astakhina¹, L. N. Komarova¹, A. N. Pavlov², and T. V. Chizh²

¹*Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Obninsk, Kaluga oblast, 249039 Russia*

²*Russian Institute of Radiology and Agroecology, National Research Centre “Kurchatov Institute”, Obninsk, Kaluga oblast, 249032 Russia*

*e-mail: GAAtamanovskaya@oiate.ru

Received April 28, 2023; revised May 30, 2023; accepted June 6, 2023

Abstract—In this work we present results of studies of radiation effects in model object – barley of three varieties. The effects of low level ionizing radiation are of interest to research proposes how stimulating effects occurs in plants. Previous studies connect radiation hormesis with increased mitotic index, while later studies contradict this. In our work, we calculated mitotic index in barley roots and Frequency of chromosomal aberrations

Keywords: barley, radiation hormesis, low level ionizing radiation, mitotic index