

Радиобиология

УДК:613.648.4;632.76

DOI:10.31857/S2500262720050099

**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ *Trogoderma granarium* Ev.
К ДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ****Н.Н. Лой**, кандидат биологических наук,
Н.И. Санжарова, член-корреспондент РАН, **С.Н. Гулина***Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
249032, Обнинск, Калужская область, Киевское шоссе, 109 км
E-mail: loy.nad@yandex.ru*

*Изучено влияние разных доз и мощности гамма-излучения на жизнеспособность капрового жука *Trogoderma granarium* (стадия личинки) в условиях лабораторных опытов 2019-2020 гг. Зерно ярового ячменя сорта Нур, зараженное вредителем, облучали на установке ГУР-120 в диапазоне доз 50-450 Гр (мощность дозы – 100, 500, 950 Гр/ч) и 500-1000 Гр (950 Гр/ч). Облучение капрового жука в дозах 50-450 Гр при мощности дозы 100 Гр/ч вызывало 100%-ную смертность личинок при дозах 350 и 450 Гр через 7 суток, при дозах 100 и 300 Гр – через 8 суток, при дозах 50, 150, 200, 250 и 400 – только через 14-17 суток. Облучение личинок такими же дозами, но мощностью 500 Гр/ч привело к более растянутой во времени смертности популяции вредителя: при 400 Гр – 8 суток, при 200 и 300 Гр – 12 суток, при 350 Гр – 14 суток, при дозах 50, 100, 250, 450 Гр – 18 суток. При дозе 150 Гр смертность достигала 90% на 14-е сутки и оставалась на этом уровне в течение 9 суток, что можно объяснить разным возрастом личинок вредителя. При увеличении мощности дозы до 950 Гр/ч динамика отмирания личинок представляла собой длительное плато при дозах 350-450 Гр на уровне смертности 70-90%, вследствие чего произошла задержка наступления их полной гибели до 20-24 суток. Облучение вредителя в диапазоне доз 500-1000 Гр при мощности дозы излучения 950 Гр/ч оказалось более эффективным: полная смертность личинок отмечена на 5-6 сутки. Не выявлено значимого влияния ионизирующего излучения на содержание в зерне ячменя протеинов, жира, клетчатки, сухого вещества и безазотистых экстрактивных веществ. Содержание золы статистически значимо изменялось под действием облучения, но не более чем на 3-6%.*

**SENSITIVITY *Trogoderma granarium* Ev.
TO THE ACTION OF IONIZING RADIATION****Loy N.N., Sanzharova N.I., Gulina S.N.***Russian Institute of Radiology and Agroecology,
249032, Obninsk, Kaluzskaya oblast, Kievskoe shosse, 109 km
E-mail: loy.nad@yandex.ru*

*The effect of different doses and gamma radiation powers on the viability of the capoe beetle *Trogoderma granarium* (larval stage) was studied in laboratory experiments in 2019-2020. Grain of spring barley of the Nur variety infected with a pest was irradiated on a GUR-120 installation in a dose range of 50-450 Gy (dose rate of 100, 500 and 950 Gy/h) and a dose range of 500 to 1000 Gy at a dose rate of 950 Gy/h. It was established that irradiation of a cap beetle in doses from 50 to 450 Gy at a dose rate of 100 Gy/h caused 100% mortality of larvae at doses of 350 and 450 Gy after 7 days, at doses of 100 and 300 Gy after 8 days, and at doses of 50, 150, 200, 250 and 400 only after 14-17 days. Irradiation of larvae in the same dose range, but at a power of 500 Gy/h, led to a more extended pest population mortality rate and amounted to 8 days at 400 Gy, 12 days at 200 and 300 Gy, 14 days at 350 Gy, 18 days at doses of 50, 100, 250 and 450 Gy, and at a dose of 150 Gy, mortality reached 90% on day 14 and stayed on this plateau for 9 days, which can be explained by the different age of caper beetle larvae. With an increase in dose rate to 950 Gy/h, it was noted that the dynamics of the death of larvae of the caper beetle demonstrates a long plateau at doses of 350-450 Gy at a mortality rate of 70-90%, as a result of which there was a delay in the onset of their complete death up to 20-24 days. Irradiation of the pest in the dose range of 500-1000 Gy with a radiation dose rate of 950 Gy/h had a more effective effect on the viability of caper beetle larvae: complete mortality of the larvae was observed on days 5-6. Determination of the chemical composition of irradiated grain of spring barley Nur varieties did not reveal a significant effect of ionizing radiation on the content of proteins, fat, fiber, dry matter and nitrogen-free extractive substances (BEV). The ash content was statistically significantly changed under the influence of irradiation in one direction or another, but not more than 3-6%.*

Ключевые слова: ионизирующее излучение, капровый жук, выживаемость, насекомые-вредители, радиационная дезинсекция, зерно ячменя

Key words: ionizing radiation, caper beetle, survival, insect pests, radiation disinsection, barley grain

Обработку ионизирующим излучением сельскохозяйственной продукции активно используют в пищевой промышленности передовых стран в качестве эффективного способа сохранения качества, замедления порчи, фитосанитарной и микробиологической безопасности. Радиационные технологии обработки продовольственного зерна и продуктов его переработки отличаются высокой эффективностью и производительностью, точностью дозирования излучения, отсутствием высокого нагрева продукта, соответствием облученной продукции санитарно-гигиеническим нормам [1-4]. Радиационная дезинсекция зерна служит

альтернативой химической обработке зерна (фумигации).

Опасные вредители хранящегося зерна в Российской Федерации – долгоносики, зерновой точильщик, хрущак и мукоеды [5]. К наиболее опасным вредителям карантинного значения относится капровый жук (*Trogoderma granarium* Ev.), распространенный во многих странах практически всех континентов. Его личинки превращают зараженную продукцию в порошкообразную массу, состоящую из остатков продуктов и экскрементов, непригодную для использования в пищу и на корм скоту. Вредитель способен уничтожить

до 60-70% хранимой продукции. Скорость развития капрowego жука зависит от питания и достаточно высокой температуры, вид способен давать массовое заражение.

При наличии карантинных вредителей в продукции цель обработки – полное исключение жизнеспособных особей [6]. При этом важна доза облучения. Величина абсолютной летальной дозы (LD_{100}) зависит от вида насекомых, стадии развития и изменяется в широких пределах [7-10]. В работе [11] показано, что доза 0,5 кГр необходима для приостановки размножения всех вредителей, хотя многие виды, особенно жесткокрылых жуков (*Coleoptera*), можно контролировать меньшими дозами. Этот порог предотвращает воспроизводство насекомых вместо того, чтобы обеспечивать острую смертность, которая требует больших доз.

Воспроизводство жесткокрылых жуков можно предотвратить дозами 0,05-0,4 кГр [12]. По мнению автора, целесообразна доза 0,4 кГр, поскольку она в значительной степени эффективна для всех насекомых, кроме куколок и взрослых чешуекрылых (*Lepidoptera*), когда достаточна более низкая доза облучения. Установлено, что дозы для предотвращения размножения у взрослых особей из двух чешуекрылых – моли выемчатокрылой (*Lepidoptera Gelechiidae*) и огневки настоящей (*Lepidoptera Pyralidae*) могут быть снижены до 0,35 и 0,45 кГр соответственно. Доза 0,45 кГр, вероятно, предотвратила бы размножение взрослых чешуекрылых (*Lepidoptera*) [13].

Ранее мы изучали влияние различных видов ионизирующего излучения и мощности доз на жизнеспособность малого мучного хрущака *Tribolium confusum* Div. и мукоеда суринамского *Oryzaephilus surinamensis* [14-16]. Применение тормозного и электронного излучений вызывало полную гибель хрущака через 15 суток после облучения при всех изученных дозах и мощности доз и обоих видах излучения, кроме дозы 250 Гр (тормозное излучение), при которой гибель отмечена через 30 суток после облучения. При гамма-облучении мукоеда суринамского (стадия имаго) дозами 170-1000 Гр (мощность дозы – 100 Гр/ч) выявлена полная гибель вредителя через 15 суток после облучения, так же как и при дозах 150-600 Гр (1800 Гр). При электронном излучении полная гибель наступала через 15 сут после облучения при всех изученных дозах (мощность дозы – 100 Гр/имп.).

Цель работы – изучение влияния разных доз и мощности гамма-излучения на жизнеспособность насекомого-вредителя – капрowego жука.

Методика. Объектом исследований были насекомое-вредитель – капровой жук *Trogoderma granarium* Everts из семейства *Dermestidae* в стадии личинки и яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта Нур. Жизнеспособность капрowego жука изучали в условиях лабораторных экспериментов во Всероссийском НИИ радиологии и агроэкологии (ВНИИРАЭ) в 2019-2020 гг. Зерно, зараженное разновозрастными личинками вредителя, помещали в мешочки из органзы, которые обеспечивали свободное поступление кислорода, и облучали на стационарной установке ГУР-120 (ВНИИРАЭ, Обнинск) дозами 50-1000 Гр (мощность дозы гамма-излучения – 100, 500 и 950 Гр/ч).

Для измерения поглощенных доз в воздухе и материале объектов использован современный клинический дозиметр ДКС-101, предназначенный для измерения поглощенной и эквивалентной дозы и мощности широкого диапазона энергии фотонного и электронного излучений.

Зараженность зерна насекомыми-вредителями определяли по действующему в России межгосударственному ГОСТ 13586.4-83 [17]. Качество зерна (содержание золы, протеинов, жира, клетчатки, сухого вещества, безазотистых экстрактивных веществ) после облучения определяли методом диффузной отражательной спектроскопии в ближней ИК-области спектра на ИК-анализаторе «Инфрапид-61» (Россия) [18]. Результаты экспериментов обработаны с применением пакета прикладных программ в составе Microsoft Excel 2003.

Результаты и обсуждение. Для изучения возможности применения радиационной дезинсекции против капрowego жука необходимо установить его радиостойчивость. В наших экспериментах исследовано влияние гамма облучения на жизнеспособность личинок – вредоносной стадии этого вредителя.

Облучение личинок дозами 50-450 Гр при мощности дозы излучения 100 Гр/ч вызвало 50%-ую их гибель: при дозах 200-450 Гр – через 2-3 суток после обработки, при дозах 50-150 Гр – через 4-5 суток (рис. 1 а). Полная (100%) гибель личинок наступила при дозах 350 и 450 Гр через 7 суток, при дозах 100 и 300 Гр – через 8 суток, при дозах 50, 150, 200, 250 и 400 – только через 14-17 суток.

Отсутствие прямо пропорциональной зависимости смертности личинок от величины дозы облучения объясняется разным возрастом личинок, подсаженных на зерно, – чем больше их возраст, тем они более радиостойчивы. Наличие взрослых личинок способствовало при скрытом поражающем действии на них ионизирующего излучения растянутости отмирания во времени.

Увеличение мощности дозы излучения до 500 Гр/ч при таком же диапазоне доз облучения – 50-450 Гр показало аналогичную зависимость смертности личинок капрowego жука от дозы облучения, как и при мощности дозы 100 Гр/ч (рис. 1 б). Через 5-6 суток после облучения при всех дозах, кроме вариантов облучения в дозах 100 и 150 Гр, отмечена 50%-ая летальность личинок. Полная гибель популяции вредителя была более растянута во времени: при 400 Гр – 8 суток, при 200 и 300 Гр – 12, при 350 Гр – 14, при дозах 50, 100, 250, 450 Гр – 18. При дозе 150 Гр смертность достигала 90% на 14-е сутки и сохранялась на этом плато в течение 9 суток, что можно объяснить разным возрастом личинок (рис. 1 б).

Облучение личинок дозами 50-450 Гр при увеличении мощности дозы до 950 Гр/ч показало длительное плато динамики отмирания личинок при высоких дозах 350-450 Гр на уровне смертности 70-90%, вследствие чего произошла задержка наступления их полной гибели – через 20-24 суток (рис. 2 а). Увеличение диапазона доз облучения до 500-1000 Гр при мощности дозы излучения 950 Гр/ч оказало более эффективное действие на жизнеспособность личинок: их смертность отмечена на 5-6 сутки (рис. 2 б). При таком диапазоне доз кривые смертности на графике мало различались, поэтому при выборе доз для радиационной дезинсекции продукции, зараженной капрowym жуком, на стадии личинок можно ограничиться дозой 500 Гр в целях экономии средств на проведение обработки.

Ионизирующее излучение значимо не влияло на такие показатели химического состава зерна ячменя сорта Нур, как содержание протеинов, жира, клетчатки, сухого вещества и безазотистых экстрактивных веществ. Содержание золы статистически значимо изменялось под действием облучения, но не более чем на 3-6%.

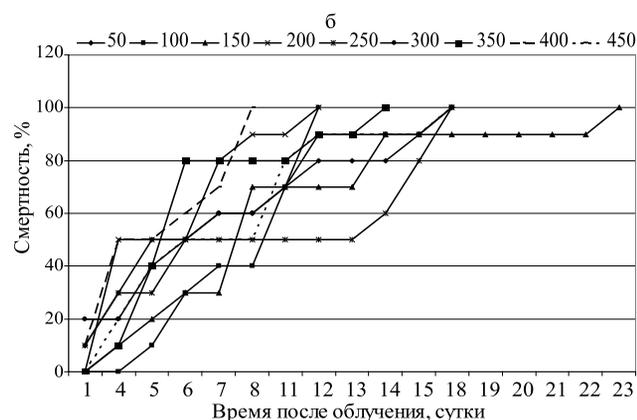
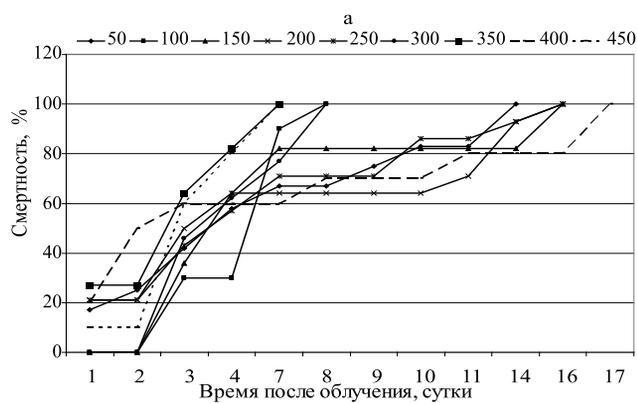


Рис. 1. Смертность личинок капрowego жука при мощности дозы излучения 100 (а) и 500 (б) Гр/ч.

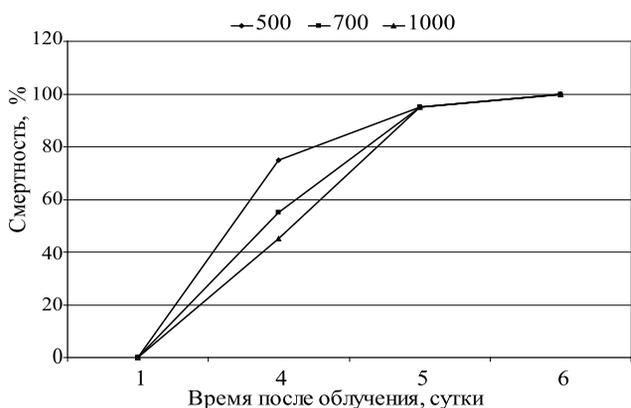
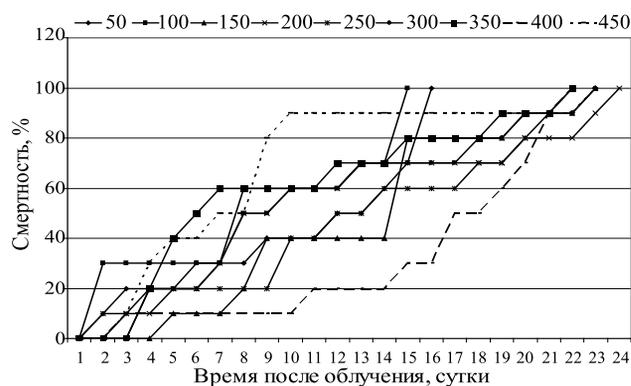


Рис. 2. Динамика отмирания личинок капрowego жука при мощности дозы 950 Гр/ч.

Таким образом, в результате лабораторных экспериментов установлено, что при облучении в диапазоне доз 50-450 Гр жизнеспособность личинок капрowego жука зависит от их возраста и дозы излучения, а при облучении дозами 500-1000 Гр – только от дозы и мощности излучения. Химический состав облученного зерна ячменя сорта Нур значительно не изменялся, кроме содержания золы, но не более чем на 3-6%.

Литература

1. Гордеев А.В., Грачева А.Ю., Завьялов М.А., Быстров П.А., Илюхина Н.В., Молин А.А., Павлов Ю.С., Полякова С.П., Прокопенко А.В., Филиппович В.П. Перспективы применения облучения электронным пучком для обеспечения микробиологической безопасности пищевой продукции // *Лазерные, плазменные исследования и технологии ЛаПлаз-2018: сб. научных трудов IV между. Конф. (30 января – 1 февраля 2018 года, Москва, Россия). Т. 1.* – М.: НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 385-386.
2. Грачева А.Ю., Завьялов М.А., Павлов Ю.С., Прокопенко А.В., Филиппович В.П. Радиационное воздействие электронов на суспензии микроорганизмов // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Техническая физика и автоматизация.* – 2015. – N 71. – С. 73-79.
3. Быстров П.А., Розанов Н.Е. Модель облучения электронным пучком трехмерного объекта в стерилизационной установке с местной биоэцицией // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядернофизические исследования.* – 2014. – N 3(91). – С. 128-133.

4. Бьковченко Т.В., Волкова О.В., Завьялов М.А. Радиационное воздействие электронов на чистые культуры микроорганизмов // *Хранение и переработка сельхозсырья.* – 2014. – N 12. – С. 45-49.
5. Закладной Г.А. Радиационная дезинсекция зерна: Монография. – М.: Центр подготовки специалистов. – 2020. – 151 с.
6. Follett P.A., Neven L.G.. Current trends in quarantine entomology // *Annu. Rev. Entomol.* – 2006. – 51. – P. 359. – P. 385.
7. Климшина А.Я. Половая стерилизация свекловичной мухи. / *Биологический метод борьбы с вредителями растений.* – Рига, 1968. – С. 247-282.
8. Brown G.A., Brower J.H., Tilton E.W. Gamma radiation effects on *Sitophilus zeamais* and *S. granarius* // *Journal of Economic Entomology.* – 1972. – 65. – P. 203-205.
9. Tilton E.W., Brower J.H. Ionizing radiation for insect control in grain and grain products // *Cereal Food World.* – 1987. – 32. – P. 330-335.
10. Zewar M.M., Abdel-Salam C.A. Food consumption by irradiated *Sitophilus granarius* (L.) and *Rhyzopertha dominica* F. // *Agricultural Research Review.* – 1988. – 66. – P. 55-61.
11. Guy J. Hallman. Control of stored product pests by ionizing radiation. // *Journal of Stored Products Research.* – 2013. – 52. – P. 36-41
12. Hallman G.J. Generic phytosanitary irradiation treatments // *Radiation Physics and Chemistry.* – 2012. – 81. – P. 861-866.
13. Hallman G.J., Phillips T.W. Ionizing irradiation of adults of Angoumois grain moth (*Lepidoptera*:

- Gelechiidae) and Indianmeal moth (Lepidoptera: Pyralidae) to prevent reproduction, and implications for a generic irradiation treatment for insects. // Journal of Economic Entomology. – 2008. – 101. – P. 1051-1056.*
14. Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Гулина С.Н. Влияние ионизирующих излучений на радиочувствительность *Oryzaephilus surinamensis* // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – N 1. – С. 25-28.
15. Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Гулина С.Н., Щагина Н.И., Миронова М.П., Губарева О.С. Влияние ионизирующего излучения на жизнеспособность насекомых-вредителей и качество зерна и зернопродуктов // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – N 6. – С. 53-55.
16. Лой Н.Н., Гулина С.Н., Щагина Н.И., Миронова М.П. Влияние ионизирующих излучений на жизнеспособность насекомых-вредителей зерна и зернопродуктов // Круглый стол «Применение химических веществ, ионизирующих и неионизирующих излучений в агробиотехнологиях», в рамках XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, Москва, 21 сентября 2016 г. – Обнинск: ВНИИРАЭ. Сборник докладов, 2016. – С. 82-86.
17. Зерно. Методы определения зараженности и повреждения вредителями. ГОСТ 13586.4-83. – М.:Стандартинформ, 1984.
18. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – С. 24-28.

Поступила в редакцию 18.05.20
После доработки 10.06.20
Принята к публикации 12.06.20