

Перспективы использования радиационной дезинсекции для карантинного фитосанитарного обеззараживания

* МОРДКОВИЧ Я.Б.¹, БАРАНОВА Л.И.²

^{1,2} ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»), р. п. Быково, г. о. Раменский, Московская обл., Россия, 140150

² e-mail: baranova_lubov@vniikr.ru

АННОТАЦИЯ

Радиационная дезинсекция испытывалась против вредителей запасов начиная с 1912 г. Впоследствии было проведено много экспериментов по изучению влияния ионизирующих излучений на насекомых. Однако практического выхода эти работы не давали из-за отсутствия достаточно мощных источников излучений.

В настоящее время предельной поглощенной дозой радиации считается 1000 Гр, что дало возможность проводить испытания данного метода с более высокими дозами облучения.

По стандартам Европейской и Средиземноморской организации по карантину и защите растений (ЕОКЗР) и Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) проводится радиационное обеззараживание плодоовощной продукции от тропических и субтропических вредителей. Но по борьбе с вредителями запасов рекомендаций нет.

Дозы облучения от 6 до 20 крад вызывают стерилизацию вредителей запасов, в том числе такого устойчивого карантинного вредителя, как капровый жук (самцы и самки). Радиационная обработка высокими дозами от 364 до 1000 Гр вызывает гибель рисового долгоносика через трое суток, а малого мучного хрущака – через временной интервал до 30 суток.

Стерилизованные вредители продолжают наносить ущерб подкарантинной продукции, так как она является кормовой базой для них. Стерилизованные, но не лишённые жизнеспособности вредители также наносят ущерб качеству подкарантинной продукции, засоряя ее личинками и шкурками и отходами жизнедеятельности.

Карантинное фитосанитарное обеззараживание от вредителей запасов требует лишения жизнеспособности карантинных объектов сразу после обработки, поэтому радиационное обеззараживание, обеспечивающее только стерилизацию, не может быть широко использовано для защиты подкарантинной продукции и подкарантинных объектов от вредителей запасов.

Prospects for the application of irradiation for stored product pest control

* YAKOV B. MORDKOVICH¹, LUBOV I. BARANOVA²

^{1,2} FGBU "All-Russian Plant Quarantine Center" (FGBU "VNIICR"), Bykovo, Urban district Ramensky, Moscow Oblast, Russia, 140150

² e-mail: baranova_lubov@vniikr.ru

ABSTRACT

Irradiation has been tested against stored product pests since 1912. Subsequently, many experiments were carried out to study the effect of ionizing radiation on insects. However, these works did not give a practical way out due to the lack of sufficiently powerful radiation sources.

Currently, the maximum absorbed dose of radiation is 1000 Gy, which made it possible to test this method with higher radiation doses.

According to the standards of the European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), irradiation disinfection of fruits and vegetables from tropical and subtropical pests is carried out. However, there are no recommendations for stored product pest control.

Ionizing radiation doses from 6 to 20 krad cause sterilization of stored product pests, including such a stable quarantine species as the khapra beetle (males and females). Radiation treatment with high doses from 364 to 1000 Gy causes the death of the rice weevil after three days, and the confused flour beetle – after a time interval of up to 30 days.

Sterilized pests continue to cause damage to regulated products, as it is a food base for them. Sterilized, but not devitalized, pests also damage the quality of regulated products, contaminating it with molting skins and waste products.

Quarantine phytosanitary treatments from stored product pests require their devitalization immediately after processing, therefore, irradiation, which provides only sterilization, cannot be widely used to protect regulated products and quarantine objects from stock pests.

Широкому применению данного метода мешает также его высокая затратность.

Ключевые слова. Подкарантинная продукция, рентгеновские лучи, вредители запасов, эффективность обработки.

ВВЕДЕНИЕ

Возможность обеззараживать различные продукты и материалы при помощи ионизирующих излучений уже давно привлекает внимание ученых. Первое известное применение рентгеновских лучей для борьбы с насекомыми осуществили А. Морган и П. Раннер в 1912 г. на табачном жуке *Lasioderma serricorne* F., а в 1916 г. П. Раннер показал, что рентгеновские лучи предотвращают развитие эмбрионов и молодых личинок табачного жука (Долженко, 2021).

В 1927 г. С. Мюллер сообщил о мутагенном действии рентгеновских лучей на насекомых и кратко изложил свой взгляд по поводу применения ионизирующей радиации для борьбы с ними. Он подчеркнул действие рентгеновских лучей на снижение плодовитости вида, даже если облучать только самцов (Долженко, 2021).

В дальнейшем было проведено много экспериментов по изучению влияния ионизирующих излучений на насекомых. Однако практического выхода эти работы не давали из-за отсутствия достаточно мощных источников излучений.

Бурное развитие ядерной физики и электроники позволило вновь заняться разработкой темы использования ионизирующих излучений в сельском хозяйстве.

ОБЗОРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Анализ данных об объемах и номенклатуре продукции, которая обращается на территории государств – членов Евразийского экономического союза (ЕАЭС) и/или является объектом экспорта/импорта в международной торговле и для которой не разработаны стандарты применения ионизирующего излучения для обеспечения ее фитосанитарной безопасности, показателей качества и продления сроков хранения, выявил наиболее стратегически значимые виды продукции.

Наибольшие объемы производства и оборота на территории РФ и ЕАЭС выявлены для зерна: пшеницы (113,255 млн тонн), ячменя (20,526 млн тонн) и муки (14,3 млн тонн), в которой наибольший процент (80%) – пшеничная и пшенично-ржаная (Данилов и др., 2016).

В опытах Института зерна (ФГБНУ «ВНИИЗР») и РАО «РХК» установлено, что для зерна пшеницы и ячменя с использованием четырех доз гамма- и двух доз электронного облучения (β -излучения) на четырех видах насекомых-вредителей (жуки рисового долгоносика *Sitophilus oryzae* L., амбарного долгоносика *Sitophilus granarius* L., зернового

The widespread use of this method is also handicapped by its high cost.

Key words. Regulated products, X-rays, stored product pests, processing efficiency.

INTRODUCTION

The possibility to disinfect various products and materials using ionizing radiation has long attracted the attention of scientists. The first known use of X-rays for insect control was carried out by A. Morgan and P. Ranner in 1912 on the tobacco beetle *Lasioderma serricorne* F., and in 1916, P. Ranner showed that X-rays prevent the development of embryos and young larvae of the tobacco beetle (Dolzhenko, 2021).

In 1927, S. Muller reported on the mutagenic effect of X-rays on insects and briefly outlined his views on the use of ionizing radiation to control them. He emphasized the effect of X-rays on reducing the fertility of the species, even if only males are irradiated (Dolzhenko, 2021).

Subsequently, many experiments were carried out to study the effect of ionizing radiation on insects. However, these works did not give a practical way out due to the lack of sufficiently powerful radiation sources.

The rapid development of nuclear physics and electronics made it possible to get back to the development of the topic of the use of ionizing radiation in agriculture.

OVERVIEW

Analysis of data on the volumes and range of products that are circulated on the territory of the member states of the Eurasian Economic Union (EAEU) and/or are exported/imported in international trade and for which standards for the use of ionizing radiation have not been developed to ensure its phytosanitary safety, quality indicators and extension of shelf life, identified the most strategically significant types of products.

The largest volumes of production and turnover in the territory of the Russian Federation and the EAEU were revealed for grain: wheat (113.255 million tons), barley (20.526 million tons) and flour (14.3 million tons), in which the largest percentage (80%) is wheat and wheat-rye (Danilov et al., 2016).

In the experiments of the Institute of Grain (FGBNU "VNIIZR") and Rusatom Healthcare, it was found that for wheat and barley grains using four doses of gamma and two doses of electron irradiation (β -radiation) on four types of insect pests (*Sitophilus oryzae* L., *Sitophilus granarius* L., *Rhyzopertha dominica* (F.), *Tribolium confusum* Duv.), the optimal range

точильщика *Rhyzopertha dominica* (F.), малого мучного хрущака *Tribolium confusum* Duv.) оптимальный диапазон доз облучения – от 150 до 1000 Гр, обеспечивающий эффективность радиационной дезинсекции без нарушения показателей качества (Закладной, 1970; Закладной, Ратанова, 1973).

Электронное облучение, иначе называемое бета-излучение (β-излучение), – это поток бета-частиц, то есть электронов. Гамма-излучение (γ-излучение) – это поток гамма-частиц, то есть фотонов. Основное отличие бета-излучения от гамма-излучения – в проникающей способности частиц.

Примечание: грей (грэй) (русское обозначение: **Гр**, международное: **Gy**) – единица поглощенной дозы ионизирующего излучения в Международной системе единиц (СИ). Поглощенная доза равна одному грею, если в результате поглощения ионизирующего излучения вещество получило 1 джоуль энергии в расчете на 1 килограмм массы.

В таблице приведены стерилизующие дозы ионизирующих излучений для основных вредителей хлебных запасов. В зависимости от дозы облучения полная гибель всех жуков рисового долгоносика наступала в промежутке от 17 до 3 суток при воздействии ионизирующего излучения в дозах от 190 Гр до 1000 Гр соответственно. За ними следуют жуки амбарного долгоносика со сроками полной гибели от 15 до 6 суток. По полученным данным, наиболее радиоустойчивыми оказались жуки зернового точильщика и малого мучного хрущака. Временные рамки отмирания имаго существенно разнятся в большую сторону от долгоносиков, но довольно близки между собой, составляя 30 и 15 суток для зернового точильщика, 26 и 18 суток для малого мучного хрущака при тех же величинах доз облучения (МСФМ № 18, 2008).

Анализ экспериментальных данных, полученных при изучении влияния различных видов излучений (гамма- и электронное) на жизнеспособность насекомых-вредителей шести видов и двух стадий развития, позволил отметить, что наибольшая биологическая эффективность из четырех изученных доз отмечена при дозе 364 Гр при гамма-облучении.

Радиочувствительность различных фаз развития насекомых-вредителей существенно различается и в ряде случаев слабо зависит от дозы облучения. Максимальные сроки полной гибели популяции наиболее радиорезистентных видов изученных насекомых-вредителей достигали 3–33 суток. При этом наименее радиорезистентные насекомые-вредители типа жука рисового долгоносика демонстрировали резкое снижение выживаемости с увеличением дозы облучения, как на гамма-установке, так и на электронном ускорителе. Полная гибель популяции происходила на 5-е сутки при 1000 Гр, а при 150 Гр – на 16-е сутки (МСФМ № 18, 2008).

В результате оценки показателей качества и безопасности облученного зерна пшеницы и ячменя было показано, что зерно пшеницы соответствовало 2-му классу по ГОСТ 9353-2016, а физико-химические показатели качества после обработки разными дозами облучения не изменялись по сравнению с контрольным вариантом (до облучения). Зерно ячменя

of irradiation doses is from 150 to 1000 Gy, which ensures the effectiveness of irradiation without violating quality indicators (Zakladnoy, 1970; Zakladnoy, Ratanova, 1973).

Electron irradiation, otherwise called beta radiation (β radiation), is a stream of beta particles, i. e., electrons. Gamma radiation (γ radiation) is a stream of gamma particles, i. e., photons. The main difference between beta radiation and gamma radiation is the penetrating ability of particles.

Note: gray (international designation: **Gy**) is a unit of absorbed dose of ionizing radiation in the International System of Units (SI). The absorbed dose is equal to one gray if, as a result of the absorption of ionizing radiation, the substance received 1 joule of energy per 1 kilogram of mass.

The table shows the sterilizing doses of ionizing radiation for the main pests of grain storages. Depending on the dose of radiation, the complete death of all *Sitophilus oryzae* occurred in the interval from 17 to 3 days when exposed to ionizing radiation in doses from 190 Gy to 1000 Gy, respectively. They are followed by *Sitophilus granarius* with terms of complete death from 15 to 6 days. According to the data obtained, *Rhyzopertha dominica* and *Tribolium confusum* turned out to be the most radio-resistant. The time frames for the death of adults differ significantly upwards from weevils, but are quite close to each other, amounting to 30 and 15 days for the grain grinder, 26 and 18 days for the small flour beetle at the same values of ionizing radiation doses (ISPM No. 18, 2008).

Analysis of the experimental data obtained during the study of the effect of various types of radiation (gamma and electronic) on the viability of insect pests of six species and two stages of development, made it possible to note that the highest biological effectiveness of the four studied doses was noted at a dose of 364 Gy during gamma irradiation.

The radiosensitivity of different phases of the development of insect pests differs significantly and, in some cases, weakly depends on the radiation dose. The maximum terms for the complete death of the population of the most radioresistant species of the studied insect pests reached 3–33 days. At the same time, the least radioresistant insect pests, such as the rice weevil beetle, showed a sharp decrease in survival rate with an increase in the radiation dose, both at the gamma installation and at the electron accelerator. The complete death of the population occurred on the 5th day at 1000 Gy, and at 150 Gy – on the 16th day (ISPM No. 18, 2008).

As a result of assessing the quality and safety indicators of irradiated wheat and barley grain, it was shown that the wheat grain corresponded to the 2nd class according to GOST 9353-2016, and the physico-chemical quality indicators after treatment with different doses of irradiation did not change compared to the control variant (before irradiation). Barley grain in terms of physical and chemical quality indicators corresponded to grain for barley supplied for food purposes in accordance with GOST 28672-90. After

Таблица. Стерилизующие дозы ионизирующих излучений для основных вредителей хлебных запасов (Закладной, Ратанова, 1973)
Table. Sterilizing doses of ionizing radiation for the main pests of grain storages (Zakladnoy, Ratanova, 1973)

Вид вредителя	Pest species	Дозы, крад Doses, krad
Капровый жук (самки)	<i>Trogoderma granarium</i> (females)	6
Короткоусый мукоед	<i>Laemophloeus ferrugineus</i>	6
Большой мучной хрущак	<i>Tenebrio molitor</i>	8
Рисовый долгоносик	<i>Sitophilus oryzae</i>	10
Амбарный долгоносик	<i>Sitophilus granarius</i>	11
Малый мучной хрущак	<i>Tribolium confusum</i>	11
Зерновой точильщик	<i>Rhyzopertha dominica</i>	14
Капровый жук (самцы)	<i>Trogoderma granarium</i> (males)	16
Мельничная огневка	<i>Ephestia kuehniella</i>	16
Суринамский мукоед	<i>Oryzaephilus surinamensis</i>	18
Фасолевая зерновка	<i>Acanthoscelides obtectus</i>	20

Примечание: единицей измерения поглощенной дозы является рад. Рад определяется как доза поглощения любого ионизирующего излучения, которая сопровождается выделением 100 эрг энергии в 1 г поглощающего материала (1 рад = 100 эрг/г). Производная единица поглощенной дозы – килорад (крад) = 10^3 рад.

Note: The unit of absorbed dose is the rad. Rad is defined as the dose of absorption of any ionizing radiation that is accompanied by the release of 100 erg of energy in 1 g of absorbing material (1 rad = 100 erg/g). The derived unit of absorbed dose is kilorad (krad) = 10^3 rad.

по физико-химическим показателям качества соответствовало зерну для поставляемого ячменя на продовольственные цели в соответствии с ГОСТ 28672-90. После облучения зерно ячменя снижало способность к прорастанию.

Таким образом, радиационная дезинсекция гарантирует стерилизацию вредителей, а при высоких дозах радиации (1000 Гр) – их отмирание в течение от 3 до 30 суток у разных видов вредителей запасов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После стерилизации карантинные вредные организмы остаются жизнеспособными и могут нанести ущерб подкарантинной продукции и подкарантинным объектам, так как продолжают питаться ею и засорять ее отходами своей жизнедеятельности.

Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 30 ноября 2016 г. № 157 утверждены Единые карантинные фитосанитарные требования, предъявляемые к подкарантинной продукции и подкарантинным объектам на таможенной границе и на таможенной территории Евразийского экономического союза, пунктом 4 которых установлено, что ввоз на таможенную территорию союза и перемещение по таможенной территории союза подкарантинной продукции, зараженной карантинными объектами, включенными в Единый перечень карантинных объектов ЕАЭС, запрещаются. Это означает, что стерилизация карантинных вредных организмов не является достаточной фитосанитарной мерой, так как не обеспечивает соответствие подкарантинной продукции и подкарантинных объектов карантинным фитосанитарным требованиям.

irradiation, barley grain reduced the ability to germinate.

Thus, irradiation guarantees the sterilization of insect pests, and at high doses of radiation (1000 Gy) – their death within 3 to 30 days in different types of stored product pests.

CONCLUSION

After sterilization, quarantine pests remain viable and can cause damage to regulated products and regulated objects, as they continue to feed on and contaminate them with their waste products.

Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission dated November 30, 2016 No. 157 approved the Common Quarantine Phytosanitary Requirements for Quarantine Products and Quarantine Objects at the Customs Border and on the Customs Territory of the Eurasian Economic Union, paragraph 4 of which establishes that the import into the customs territory of the Union and movement in the customs territory of the Union, regulated products contaminated with quarantine pests included in the Common List of Quarantine Pests of the EAEU are prohibited. This means that sterilization of quarantine pests is not a sufficient phytosanitary measure, since it does not ensure compliance of regulated products and regulated objects with quarantine phytosanitary requirements.

In addition, irradiation requires significant financial costs to ensure processing technology and safety precautions.

Кроме того, радиационная дезинсекция требует значительных финансовых затрат на обеспечение технологии обработки и техники безопасности.

Так, гамма-установка, построенная в США, финансировалась Комиссией по атомной энергии США и Специальным фондом ООН (Закладной, 1970).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов П.В., Жиганов К.В., Пронин А.В. Использование ионизирующих излучений в промышленности, медицине и других областях // Молодой ученый. 2016. № 23 (127). С. 40–44.
2. Долженко В.И. Повысить фитосанитарную безопасность Российской Федерации // Защита и карантин растений. 2021. № 2. С. 4–7.
3. Закладной Г.А. Меры борьбы с вредителями зерна и продуктов его переработки за рубежом. М.: ЦНИИТЕИ Мингаза СССР, 1970, 48 с.
4. Закладной Г.А., Ратанова В.Ф. Вредители хлебных запасов и меры борьбы с ними. М.: Колос, 1973, 277 с.
5. Международный стандарт по фитосанитарным мерам МСФМ № 18 «Руководство по использованию облучения в качестве фитосанитарной меры», 2008, 25 с.
6. Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 30 ноября 2016 г. № 157 «Об утверждении Единых карантинных фитосанитарных требований, предъявляемых к подкарантинной продукции и подкарантинным объектам на таможенной границе и на таможенной территории Евразийского экономического союза», п. 4.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мордкович Яков Борисович, ведущий научный сотрудник отдела обеззараживания ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, г. о. Раменский, Московская обл., Россия.

Баранова Любовь Ивановна, специалист учебно-методического отдела ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, г. о. Раменский, Московская обл., Россия; e-mail: baranova_lubov@vniikr.ru.

Thus, a gamma-ray facility built in the USA was financed by the US Atomic Energy Commission and the UN Special Fund (Zakladnoy, 1970).

REFERENCES

1. Danilov P.V., Zhiganov K.V., Pronin A.V. The use of ionizing radiation in industry, medicine and other areas [Ispol'zovaniye ioniziruyushchikh izlucheniye v promyshlennosti, meditsine i drugikh oblastiakh] // Young scientist. 2016. No. 23 (127). P. 40–44. (In Russ.)
2. Dolzhenko V.I. To increase the phytosanitary safety of the Russian Federation [Povysit fitosanitarnuyu bezopasnost Rossiyskoy Federatsii] // Plant Health and Quarantine. 2021. No. 2. P. 4–7. (In Russ.)
3. Zakladnoy G.A. Measures to combat pests of grain and products of its processing abroad [Mery bor'by s vreditelyami zerna i produktov yego pererabotki za rubezhom]. M.: TsNIITEI Mingaz USSR, 1970, 48 p. (In Russ.)
4. Zakladnoy G.A., Ratanova V.F. Pests of grain storages and measures to control them [Vrediteli khlebnikh zapasov i mery bor'by s nimi]. Moscow: Kolos, 1973, 277 p. (In Russ.)
5. International Standard for Phytosanitary Measures ISPM No. 18 "Guidelines for the use of irradiation as a phytosanitary measure", 2008, 25 p.
6. Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission dated November 30, 2016 No. 157 "On approval of the Common quarantine phytosanitary requirements for regulated products and regulated objects at the customs border and on the customs territory of the Eurasian Economic Union", paragraph 4.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yakov Mordkovich, Leading Researcher, Treatment Department, FGBU "VNIKIR", Bykovo, Urban district Ramensky, Moscow Oblast, Russia.

Lubov Baranova, Specialist, Education and Methodology Department, FGBU "VNIKIR", Bykovo, Urban district Ramensky, Moscow Oblast, Russia; e-mail: baranova_lubov@vniikr.ru.