

УДК 664.66.019:612.014.482

DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-4-533-538

## **ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ НА РАЗВИТИЕ КАРТОФЕЛЬНОЙ БОЛЕЗНИ ХЛЕБА**

**А. С. Марков, И. Ю. Сергеева, Е. В. Назимова, А. С. Романов**

Технологии радиационной обработки пищевых продуктов для сохранения их от порчи, и прежде всего от микробиологической, находят все большее промышленное применение. Целью исследований было оценить влияние обработки ионизирующим излучением пшеничной муки на развитие картофельной болезни хлеба (КБХ), которая вызывается микроорганизмами *B. Subtilis* и представляет собой значительную проблему при использовании такой муки. Использовали образцы муки, искусственно зараженные *B. Subtilis*, облучение которых проводили на гамма-установке «РХМ-У-20» с фактической дозой 4,0, 7,9, 11,9 и 15,8 кГр. В образцах муки определяли микробиологические показатели бактериологическими методами. Признаки КБХ – методом пробной лабораторной выпечки с оценкой степени ее развития через 24–96 часов выдержки по предложенной 10-балльной органолептической шкале. При дозах облучения до 7,9 кГр наблюдалось повышение показателя КМАФАНМ, а при дальнейшем увеличении дозы – снижение, которое при 15,8 кГр составило 15 раз по отношению к контролю. Количество *B. Subtilis* во всех образцах было менее 10 КОЕ/г. Отсутствие признаков КБХ не наблюдалось у образцов с дозой облучения выше 11,9 и 15,8 кГр, но только при выдержке хлеба до 24 и до 48 часов соответственно. Скорость развития признаков КБХ монотонно уменьшалась с увеличением дозы облучения. В отличие от показателя КМАФАНМ, усиление проявления КБХ при малых дозах облучения не выявлено. Уточнение практических рекомендаций по дозам облучения муки для предотвращения КБХ требуются дополнительные исследования над образцами с естественным уровнем содержания ее возбудителей.

*Ключевые слова:* облучение, пшеничная мука, технологические свойства, картофельная болезнь.

Важным фактором продовольственной безопасности является предотвращение потерь продукции на всех этапах производства. Одним из этапов жизненного цикла пищевой продукции, на котором происходят максимальные потери, является хранение. Прежде всего это связано с микробиологической порчей. Эффективный и безопасный метод сохранения пищи – облучение, поскольку оно уменьшает порчу, улучшает санитарное состояние продуктов и, как следствие, продлевает срок годности. Общемировой тенденцией является расширение коммерческого использования радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности [1, 2, 3].

Существует установленная структура международных стандартов для облучения пищевых продуктов, охватывающих здоровье человека, защиту растений, маркировку, способы облучения, обеспечение качества и управление объектами. Около 60 стран разрешают облучение одной или нескольких групп продуктов питания. Объемы облученной свежей продукции в настоящее время превышают 20 000 тонн в год [4, 5].

Промышленное применение данных технологий основано на многочисленных результатах исследований, которые доказали, что облучение в установленных стандартами дозах не оказывает отрицательного влияния на пищевую

ценность или остаточную радиацию в продуктах питания [6, 7].

Многочисленные исследования технологии радиационной обработки демонстрируют значительный потенциал применения, прежде всего с целью обеззараживания пищевой продукции [8, 9, 10, 11].

Оценка влияния облучения проводится, прежде всего, в отношении наиболее распространенных патогенных загрязнителей пищевых продуктов. Так, ряд исследований проведен в отношении микроорганизмов *Salmonella*, *E. coli* и *S. aureus*. Результаты показали, что существует различие в устойчивости отдельных видов микроорганизмов. Наименее устойчивым оказался штамм *S. aureus*. Результаты исследований также указывают на сложную зависимость эффективности радиационной обработки от дозы облучения, в особенности при невысоких ее значениях [5, 12, 13].

Помимо отдельных распространенных патогенных микроорганизмов, интерес для исследователей представляет общее содержание микроорганизмов и в отдельности дрожжей и плесеней, являющихся показателями безопасности для всех пищевых продуктов. Есть данные по изучению влияния малых доз гамма-облучения с последующим хранением в течение 6 месяцев на физико-химические свойства зерна пшеницы. Гамма-облучение до 3,5 кГр ингибировало некоторые виды плесеней и не влияло на физические свойства зерен пшеницы и их пищевую ценность [14].

Помимо целевого воздействия на микроорганизмы, в процессе облучения происходит изменение биополимеров пищевых продуктов, что подтверждается рядом исследователей [15]. В свою очередь изменения биополимеров влияют на различные комплексные, технологические свойства, что представляет значительный интерес, т.к. это позволяет судить о применимости такого продукта для дальнейшей переработки, что особенно важно для муки.

Среди доступных результатов исследований не найдены исчерпывающие данные по влиянию облучения на такие спорообразующие бактерии, содержащиеся в муке, как *Bacillus subtilis* (сенная палочка). Хотя именно этот вид, за счет образования термоустойчивых спор, сохраняется при выпечке и приводит к поражению хлеба картофельной болезнью. Амилолитические ферменты бактерий этого вида

активно гидролизуют крахмал с образованием декстринов, а протеолитические разрушают белки до продуктов, придающих резкий специфический запах.

**Целью настоящей работы** являлось исследование влияния гамма-облучения пшеничной муки в различных дозах на развитие картофельной болезни хлеба, выпеченного из нее.

#### **Объекты и методы исследования**

В работе использовали пшеничную хлебопекарную муку 1-го сорта с массовой долей золы в пересчете на сухое вещество не более 0,75%, отвечающую требованиям ГОСТ 26574-2017.

Облучение образцов проводили на гамма-установке «РХМ-У-20». Мощность дозы гамма-излучения была определена с помощью ферросульфатной дозиметрии. В течение проведения исследований мощность поглощенной дозы была равна 1,1 Гр/с.

Определение в муке количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), плесеней и *B. subtilis* проводили бактериологическими методами, основанными на высеве продукта, инкубировании посевов, подсчете всех выросших видимых колоний.

#### **Результаты исследований**

Для гарантированного наличия в образцах муки бактерий и спор *B. Subtilis*, вызывающих диагностирование картофельной болезни хлеба (КБХ), муку принудительно заражали бактериями *B. Subtilis* по разработанной нами методике.

На основании ранее проведенных исследований и данных других авторов [16], для обеспечения сохранения технологических свойств муки после облучения на приемлемом уровне в данной работе применялось облучение с дозой от 4,0 до 15,8 кГр.

Многочисленные данные научно-технической литературы указывают на то, что чувствительность микроорганизмов к действию облучения зависит от его дозы. Из данных, приведенных в таблице 1, следует, что доза облучения имела нелинейное влияние на показатель КМАФАнМ, что согласуется с данными других авторов [5]. При небольшой дозе, до 7,9 кГр, отмечается некоторый рост числа микроорганизмов, что может объясняться активацией функций ферментативной репарации. При дозе более 11,9 кГр происходило значительное сни-



жение количества колоний КМАФАнМ и при максимальной дозе 15,8 кГр снизилось в 15 раз по отношению к контролю. Во всех образцах количество *B. Subtilis* было менее 10 КОЕ/г, что соответствовало чувствительности метода.

Как известно, содержание *B. Subtilis* в муке, определяемое бактериологическим методом, не всегда коррелирует с их способностью вызывать КБХ, т.к. определяется их штаммами и условиями приготовления хлеба. Ряд существующих биохимических и физических методов хоть и обладают более высокой точностью,

требуют использования специализированных приборов [17]. Так как требование экспрессности методики не было, то в работе был применен арбитражный метод, основанный на пробной лабораторной выпечке с некоторой модификацией. Изменение метода заключалось в определении степени развития КБХ по органолептическим показателям запаха и состояния мякиша образца хлеба. Для этого была разработана 10-балльная шкала, представленная в таблице 2. Значения дескрипторов шкалы приведены в таблице 3.

Таблица 1 – Влияние дозы облучения на содержание микроорганизмов

Наименования показателя	Содержание микроорганизмов при различной дозе облучения				
	0 (контроль)	4,0 кГр	7,9 кГр	11,9 кГр	15,8 кГр
<i>B. Subtilis</i> , КОЕ/г	менее 1,0×10	менее 1,0×10	менее 1,0×10	менее 1,0×10	менее 1,0×10
КМАФАнМ, КОЕ/г	1,5×100	6,0×100	2,0×100	1,5×100	1,0×10
Плесени, КОЕ/г	5,0×10	2,0×10	2,0×10	1,0×10	1,0×10

Таблица 2 – Шкала степени зараженности хлеба картофельной болезнью

Сумма баллов	Степень заболевания хлеба картофельной болезнью
0	Отсутствие признаков заболевания
1–2	Признаки слабой степени заболевания
3–4	Слабая степень заболевания
5–6	Средняя степень заболевания
7–8	Сильная степень заболевания
9–10	Очень сильная степень заболевания

Таблица 3 – Дескрипторы шкалы оценки степени зараженности картофельной болезнью

Показатели	Характеристика	Баллы
Запах	Отсутствие постороннего запаха	0
	Едва различимый посторонний (фруктовый) запах	1
	Хорошо различимый посторонний (фруктовый) запах	2
	Хорошо различимый посторонний неприятный запах	3
	Неприятный гнилостный запах	4
	Резкий неприятный запах, напоминающий запах гнилого картофеля	5
Состояние мякиша	Мякиш упругий, хорошо восстанавливается после снятия нагрузки (надавливания), сухой на ощупь	0
	Мякиш плохо восстанавливается после снятия нагрузки (надавливания), слегка заминающийся, сухой на ощупь	1
	Мякиш заминающийся, слегка липкий на ощупь	2
	Мякиш липкий на ощупь	3
	Мякиш очень липкий на ощупь с признаками ослизнения, с темными пятнами	4
	Тонкие нити при разломе мякиша, потемнение мякиша, пустоты в мякише	5
Максимальная оценка		10

Для оценки динамики влияния облучения муки на развитие КБХ оценку состояния образцов хлеба проводили через 24, 48, 72 и 96 часов выдерживания в провокационных условиях при температуре  $37 \pm 2$  °С и повышенной влажности. Результаты представлены на рисунке 1.

Выявление признаков КБХ у контрольного образца из муки без облучения после 24 часов хранения выпеченного хлеба говорит о достаточно высокой степени зараженности муки несмотря на низкие значения содержания *B. Subtilis*, полученные бактериологическим методом. Это дополнительно подтверждает слабую корреляцию данного показателя на развитие КБХ.

Полученные данные демонстрируют вполне предсказуемую монотонную зависимость степени развития КБХ от продолжительности хранения, что наблюдается у образцов с дозой облучения до 7,9 кГр. Более высокие дозы привели к уменьшению скорости развития КБХ, что выразилось в отсутствии ее признаков в первых периодах выдержки. Однако полного ингибирования развития *B. Subtilis* при дозах облучения до 15,8 кГр не произошло.

Можно отметить отсутствие увеличения скорости развития КБХ при низких дозах облучения, как в случае с показателем КМАФАнМ (табл. 1). Вероятно, это связано с отсутствием

функций ферментативной репарации поврежденных в спорах *B. Subtilis*, в отличие от живых микроорганизмов.

### Выводы

В результате проведенных исследований установлен дозозависимый характер влияния облучения муки на развитие КБХ. Для практических рекомендаций по выбору дозы облучения требуются дополнительные исследования с образцами муки, имеющими естественный уровень заражения *B. Subtilis*. Однако на основании полученных данных можно судить о достаточно высокой эффективности воздействия дозами от 11,9 кГр, учитывая характер исследованных образцов муки и то, что для принятия решения об отсутствии признаков КБХ для образцов муки на практике применяется период выдержки хлеба 24 и 36 ч.

### Список литературы

1. Ihsanullah I., Rashid A. Current activities in food irradiation as a sanitary and phytosanitary treatment in the Asia and the Pacific Region and a comparison with advanced countries // Food Control. 2017. Vol. 72. Part B. P. 345–359. DOI: 10.1016/j.foodcont.2016.03.011.
2. Varalakshmi S. A review on the application and safety of non-thermal techniques on fresh

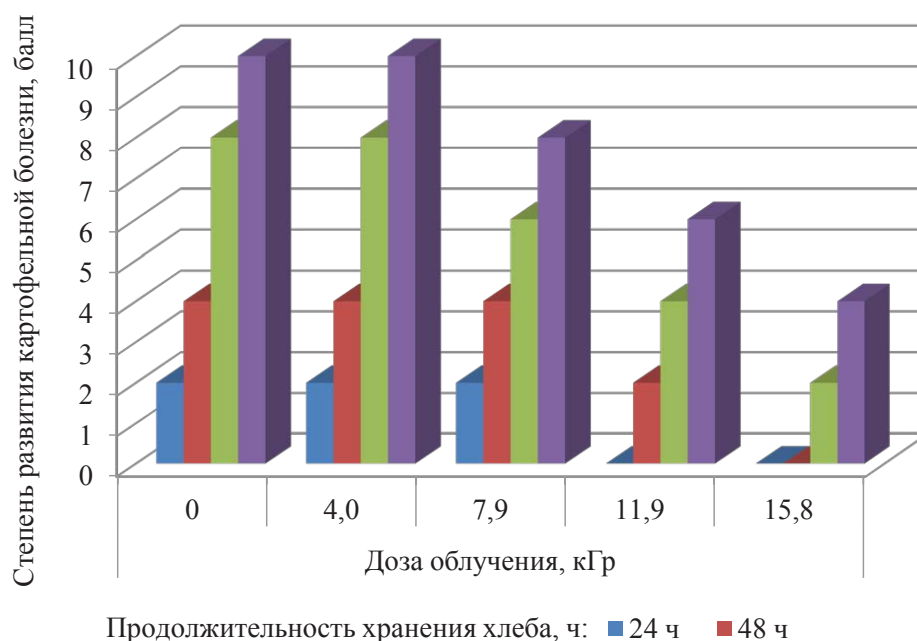


Рис. 1. Зависимость степени развития картофельной болезни от дозы облучения и продолжительности хранения образцов хлеба



produce and their products // LWT. 2021. Vol. 149. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111849.

3. Рогов И. А., Чоманов У. Ч., Данильчук Т. Н. Эффективность метода обработки быстрыми электронами для снижения порчи пищевого сырья и продовольственных товаров при хранении и транспортировке // Health, Food & Biotechnology. 2020. Т. 2. № 1. С. 84–97. DOI: 10.36107/hfb.2020.il.s291.

4. Roberts P. B. Food irradiation: Standards, regulations and world-wide trade // Radiation Physics and Chemistry. 2016. Vol. 129. P. 30–34. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2016.06.005.

5. Горячева Е. Д., Колоколова А. Ю., Илюхина Н. В. Обеспечение микробиологической безопасности пищевой продукции с применением ионизирующего облучения // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 4. С. 101–108.

6. Feliciano C. P. High-dose irradiated food: Current progress, applications, and prospects // Radiation Physics and Chemistry. 2018. Vol. 144. P. 34–36. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2017.11.010.

7. Microbial decontamination of food by electron beam irradiation / H.-M. Lung [et al.] // Trends in Food Science & Technology. 2015. Vol. 44. Issue 1. P. 66–78. DOI: 10.1016/j.tifs.2015.03.005.

8. Pankaj S. K., Shi H., Keener K. M. A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food // Trends in Food Science & Technology. 2018. Vol. 71. P. 73–83. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.11.007.

9. Effect of various doses of ionizing radiation on the safety of meat semi-finished products / R. T. Timakova, S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova, I. F. Gorlov // Foods and Raw Materials. 2018. Т. 6. № 1. С. 120–127. DOI: 10.21603/2308-4057-2018-1-120-127.

10. Изменение численности микроорганизмов в какао-порошке при гамма облучении и последующем хранении / Е. П. Пименов, А. Н. Павлов, Н. А. Васильева, А. И. Морозова // Мир современной науки. 2018. № 1 (47). С. 8–11.

11. Использование  $\gamma$ -излучения для холодной стерилизации многокомпонентных продуктов, готовых к употреблению / И. В. Полякова [и др.] // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2015. Т. 24. № 4. С. 43–52.

12. Облучение биологических объектов с применением ионизирующего пучка с целью ингибирования условно-патогенной и патогенной микрофлоры сельскохозяйственного сырья / М. А. Завьялов, В. А. Кухто, Н. В. Илюхина, А. Ю. Колоколова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 3 (77). С. 278–282. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-3-278-282.

13. Гайнутдинов Т. Р. Экспериментальный подбор доз ионизирующего излучения, вызывающих ингибирование роста и полную инактивацию золотистого стафилококка // Ветеринарный врач. 2020. № 4. С. 4–8. DOI: 10.33632/1998-698X.2020-4-4-8.

14. Effect of utilization of gamma radiation treatment and storage on total fungal count, chemical composition and technological properties wheat grain / E. A. Salem, S. A. Soliman, A. M. El-Karamany, Y. M. Abd El-Shafea // Egyptian Journal of Biological Pest Control. 2016. Vol. 26 (1). P. 163–171.

15. Lai D.-E., Wang M., Zhang C.-Y. Quality trait variations in [ $^{60}\text{Co}$ ]-irradiated wheat and high-molecular-weight glutenin subunit mutant identification // Genetics and Molecular Research. 2014. Vol. 13 (4). P. 9024–9031. DOI: 10.4238/2014.October.31.17.

16. Effect of  $\gamma$ -radiation on free radicals formation, structural changes and functional properties of wheat starch / H. Atrous [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. 2015. Vol. 80. P. 64–76. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2015.06.014.

17. Першакова Т. В. Разработка способа выявления картофельной болезни хлеба // Новые технологии. 2011. № 3. С. 51–55.

---

**Марков Александр Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

E-mail: asm041@yandex.ru.

**Сергеева Ирина Юрьевна**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой технологии продуктов питания из растительного сырья, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

E-mail: sergeeva.76@list.ru.

**Назимова Екатерина Васильевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

E-mail: ks-41@mail.ru.

**Романов Александр Сергеевич**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой пищевых производств, НОЧУ ДПО «Международная промышленная академия».

E-mail: romanas@list.ru.

\* \* \*