

Ингибирование прорастания клубней картофеля при воздействии электронного пучка с энергией 1 МэВ

А.С. Алимов¹, У.А. Близнюк¹, П.Ю. Борщеговская², С.Н. Еланский^{3,4}, А.П. Черняев^{1,2}, Д.С. Юров¹

1 – Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ им. М. В. Ломоносова. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д.1, стр. 2.

2 – Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, кафедра физики ускорителей и радиационной медицины. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

3 – Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, биологический факультет. Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12.

4 – ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха, 140051, Московская обл., Люберецкий р-н, п. Красково-1, ул. Лорха, д.23, Россия.

Аннотация

В работе показана эффективность радиационной обработки для ингибирования прорастания клубней картофеля ускоренными электронами с энергией 1МэВ при дозах более 44 Гр. Дозы более 1кГр приводили к гибели клубней картофеля. Проведен анализ внешних признаков клубней сразу после облучения, через 4 и 10 недель хранения.

Ключевые слова: прорастание клубней картофеля, радиационная обработка

Введение

Общий объем производства картофеля в России составляет 28-30 млн. тонн в год, при этом из-за его прорастания вследствие нарушений условий хранения теряется значительная часть урожая. Особые сложности с прорастанием наблюдаются при хранении картофеля, предназначенного для переработки на хрустящий картофель, т.к. технология требует хранения при достаточно высокой температуре 8-10°C. Перерабатывающая промышленность предъявляет высокие требования в отношении качества и сроков хранения овощей, возникает необходимость в длительном хранении и сохранении качества картофеля на оставшиеся девять месяцев до следующего урожая. Следствием прорастания является ухудшение качества картофеля и непригодность его дальнейшего использования для промышленных целей. В течение последних лет выявлен ряд химических препаратов, способных задерживать прорастание картофеля. Современная практика включает в себя использование химических препаратов на основе хлорпрофамы, который является регулятором роста растений и гербицидом. Однако это дорого, технически сложно, требует соблюдения защитных мероприятий персоналом хранилища, продукты распада могут сохраняться в клубнях. Использование химических препаратов не

допускается при производстве экологически чистой продукции. В последнее время все больше стран, в том числе и Россия, стремятся к снижению использования гербицидов, следовательно, возникает необходимость в применении альтернативных методов контроля прорастания картофеля.

Облучение картофеля ионизирующим излучением является эффективным методом ингибирования прорастания клубней. В мире широко применяется гамма-излучение для облучения различных овощей и фруктов (Nouri et al., 2001; Burton, Hannan, 1957; Rezaee et al., 2001; Ghanekar et al., 1983). В последнее время появились центры облучения разного рода сельскохозяйственных культур электронами, причем облучение проводят как в диапазоне низких энергией порядка 300 кэВ (Hayashi, Todoriki, 2002), так и пучками электронов с энергией 5 МэВ (Frasier et al., 2006). Подобные центры успешно функционируют в таких странах, как США, Япония, Индия, Китай, страны Латинской Америки, Иран, Пакистан и т.д. Большое внимание уделяется исследованию структурных, химических и морфологических свойств картофеля после проведения облучения (Schwininger et al., 1957). Рекомендованные дозы для ингибирования прорастания варьируются от 50 до 250 Гр (Nouri et al., 2001; Burton, Hannan, 1957; Rezaee et al., 2001; Ghanekar et al., 1983, Singh et al., 2010).

Целью данной работы была экспериментальная проверка эффективности использования пучка

Автор для переписки: Борщеговская П.Ю.
E-mail: alexeevapo@mail.ru

ускоренных электронов с энергией 1 МэВ для ингибирования прорастания клубней картофеля, а также поиск наименьшей дозы облучения, при которой происходит остановка прорастания.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования был выбран оздоровленный моноклональный семенной картофель сорта «Невский». Сто клубней одного размера средней массой семь грамм произвольным образом были отобраны, вымыты и высушены. Десять клубней, не подверженных облучению, были оставлены в качестве контрольных образцов.

Клубни картофеля облучали пучком ускоренных электронов промышленного ускорителя электронов непрерывного действия УЭЛР-1-25-Т-001 на энергию 1 МэВ со средней мощностью пучка 25 кВт, который может быть использован для реализации целого ряда радиационных технологий (Alimov et al., 2012 a,b; Yurov et al., 2014).

Для каждой дозы облучения произвольным образом выбирали пять клубней, разрезали пополам и помещали на специальную пластину непосредственно перед пучком. Все эксперименты проводились при температуре 20°C, температура облучаемой пластины, на которую помещались образцы во время облучения, составляла 12°C, во время облучения нагрева клубней не происходило.

Дозу, полученную картофелем, оценивали по измеренному суммарному заряду электронов, падающих на пластину, на которой находились клубни. При этом учитывали полную площадь пластины, $S_{\text{пласт}}$, а также площадь, занятую картофелем, так как измеренный заряд электронов $Q_{\text{изм}}$, используемый в дальнейших расчетах для оценки дозы, измерялся только с поверхности пластины, не занятой образцами.

Для расчета поглощенной дозы в картофеле половину клубня рассматривали как полусферу радиуса R, которая обращена выпуклостью вверх. На эту полусферу сверху падает по нормали к поверхности пучок электронов с энергией E_0 (в нашем случае 1МэВ). Поток электронов, т.е. количество электронов N_e , падающих на единицу площади поверхности картофеля S, равен $\Phi = N_e/S = Q_k/S \cdot e$, где $Q_k = \{Q_{\text{изм}}/[1 - (S_n/S_{\text{пласт}})] - Q_{\text{изм}}\}/n$ - заряд, падающий на

один клубень, $S_{\text{пласт}}$ – полная площадь пластины, с которой проводится измерение тока, n – количество клубней, непосредственно находящихся под пучком в момент облучения.

Разместим систему координат в плоскости так, что ее начало совпадает с центром полусферы, тогда при фиксированном расстоянии $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ от начала координат, толщина слоя материала полусферы над данной точкой будет равняться $l = \sqrt{R^2 - r^2} = R\sqrt{1 - (r/R)^2}$, а количество электронов, падающих на кольцо радиуса r и толщины dr будет равняться $\Phi 2\pi r dr$. Предположим, что при прохождении слоя толщиной l электрон теряет энергию $E(E_0, l)$, при этом не рассеиваясь в среде. При этих условиях выделившаяся в полусфере энергия $E_{\text{деп}}$ будет равняться величине

$$E_{\text{деп}} = \int_0^R \Phi E(E_0, R\sqrt{1 - (r/R)^2}) 2\pi r dr \tag{1}$$

Предположим, что потери энергии электронов прямо пропорциональны пройденному пути. Тогда потери энергии ΔE при прохождении пути l описываются выражением:

$$\Delta E = \begin{cases} E_0, & l \geq S_{\text{max}}, \\ E_0 l / S_{\text{max}}, & l < S_{\text{max}} \end{cases} \tag{2}$$

где S_{max} – максимальный пробег электронов в среде. В нашем случае максимальный пробег электронов с энергией 1 МэВ составляет примерно 0,5 см, т.е. меньше радиуса R. Тогда соотношение (1) с учетом (2) преобразуется к виду

$$E_{\text{деп}} = \int_0^{R\sqrt{1 - (S_{\text{max}}/R)^2}} \Phi E_0 2\pi r dr + \int_{R\sqrt{1 - (S_{\text{max}}/R)^2}}^R \Phi E_0 \frac{R\sqrt{1 - (r/R)^2}}{S_{\text{max}}} 2\pi r dr. \tag{3}$$

Взяв соответствующие интегралы, приходим к следующему выражению для поглощенной энергии:

$$E_{\text{деп}} = \Phi E_0 \frac{\pi}{3} (3R^2 - S_{\text{max}}^2)$$

соответствующее значение средней поглощенной в полусфере дозы есть

$$D = \frac{E_{\text{деп}}}{m} = \frac{\Phi E_0 \frac{\pi}{3} (3R^2 - S_{\text{max}}^2)}{\rho \frac{2}{3} \pi R^3} = \frac{\Phi E_0 (3 - (S_{\text{max}}/R)^2)}{2\rho R}. \tag{4}$$

Таблица 1.

Параметры облучения клубней картофеля пучком ускоренных электронов в дозах 20 – 20000 Гр

N	Измеренный заряд $Q_{\text{изм}}$, нКл	Время облучения	Ток пучка	Поглощенная доза, Гр
1	1744	10 сек	70 нА	20
2	3865	37 сек	70 нА	44
3	7815	1 мин 21 сек	70 нА	90
4	15780	2 мин 40 сек	70 нА	182
5	39810	6 мин 32 сек	70 нА	459
6	79540	14 мин 40 сек	70 нА	917
7	159340	13 мин	190 нА	1838
8	397000	2 мин 10 сек	2,6 мкА	4580
9	1593500	9 мин 32 сек	2,6 мкА	20152

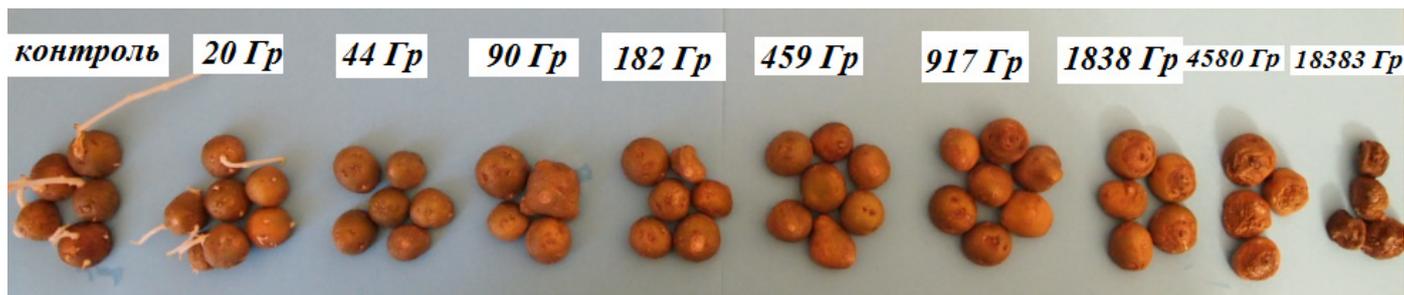


Рис. 1. Фотография контрольных образцов, а также образцов, облученных дозами 20 Гр, 44 Гр, 90 Гр, 182 Гр, 459 Гр, 917 Гр, 1838 Гр, 4580 Гр, 18383 Гр через два с половиной месяца после облучения.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 для каждого измерения приведены соответствующие значения измеренного заряда электронов, падающих на пластину, не занятую клубнями картофеля, время облучения, ток пучка электронов на выходе из ускорителя и соответствующие значения поглощенной дозы, полученные половинками клубней картофеля и рассчитанные по формуле (4). Клубни картофеля облучались дозами 20, 44, 90, 182, 459, 917, 1838, 4580 и 18383 Гр. Погрешность в оценке дозы облучения составляла примерно 10%. После облучения клубни хранились при температуре 15°C.

В первые две недели образцы картофеля, облученные разными дозами, не отличались по внешним признакам: кожура и мякоть были схожи с контрольными образцами. Через 4 недели после хранения контрольные образцы начали прорастать, длина проростков составляла 7 ± 3 мм. У клубней, облученных в дозе 20 Гр, через 4 недели после облучения начали появляться проростки, их длина составляла 2 ± 1 мм, остальные клубни не проросли. Кожура клубней, облученных дозами 1838, 4580 и 18383 Гр потеряла влагу и потемнела. Клубни, облученные дозами 44, 90, 182, 459 и 917 Гр, визуально не изменились.

Визуальный контроль велся на протяжении всего срока хранения картофеля (10 недель). Результат визуального сравнения контрольных образцов, а также облученных различными дозами, через 10 недель после проведения облучения приведен на рис. 1.

Как видно из рис. 1, контрольные образцы проросли, длина проростков варьировалась от 2 мм до 70 мм, средняя длина отростков составляла $22,6 \pm 7$ мм. У образцов, облученных дозой 20 Гр, также появились проростки, их длина варьировалась от 1 мм до 20 мм, средняя длина составляла $5,8 \pm 3,7$ мм. У клубней, облученных дозой 44 Гр, даже через 10 недель хранения после облучения проростки не обнаружены.

За все время наблюдения клубни, облученные дозами 44, 90, 182, 459 и 917 Гр, визуально не изменились; морфологические признаки мякоти и кожуры не отличались от признаков необлученных образцов картофеля. У кожуры образцов, облученных дозами 1838, 4580 и 18383 Гр, наблюдалась большая потеря влаги, а также потемнение и потеря влаги в мякоти.

Закключение

Было проведено сравнение внешних признаков картофеля при облучении разными дозами пучков ускоренных электронов с энергией 1МэВ сразу после облучения и через два с половиной месяца хранения. По результатам эксперимента были определены параметры пучка при которых у клубней картофеля теряется способность к прорастанию, но сохраняется целостность мякоти и кожуры.

Показано, что использование ускоренных электронов эффективно для ингибирования прорастания клубней картофеля при облучении дозой 44 Гр, что примерно на 10% меньше минимальной дозы 50 Гр, рекомендованной на сегодняшний день в широкой печати. Облучение дозой 20 Гр замедляло процесс прорастания по сравнению с контрольными образцами, однако ингибирования прорастания в данном случае не произошло. Внешние признаки мякоти и кожуры облученных клубней не отличались от признаков необлученных образцов картофеля. Дальнейшее увеличение дозы облучения приводило к ухудшению внешних признаков, и, в результате, при дозах больших 1кГр – к гибели картофеля. Результаты расчетов показали, что электроны с энергией 1 МэВ проникают внутрь клубней менее, чем на 5 мм, не воздействуя на мякоть, они отдают всю свою энергию поверхностному слою картофеля, повреждая находящиеся в поверхностном слое клубня глазки.

Таким образом проверена возможность ингибирования прорастания картофеля и одновременно сохранение целостности мякоти при соответствующих параметрах пучка ускоренных электронов. Данные эксперимента могут быть использованы при создании установок по радиационной обработке овощных культур.

Список цитированной литературы

1. Nouri J, Toofanian F. Extension of storage of onions and potatoes by gamma irradiation // Pakistan journal of biological science. —2001.—V.4(10).— P. 1275-1278.
2. Burton WG, Hannan RS. Use of γ -radiation for preventing the sprouting of potatoes// Journal of the Science of Food and Agriculture.— 1957.— V.8.P. 707–715.
3. Rezaee M, Almassi M, Majdabadi Farahani A, Minaeia S, Khodadadi M, Agr J. Potato Sprout Inhibition

and Tuber Quality after Post Harvest Treatment with Gamma Irradiation on Different Dates.// Sci. Tech.—2001.— V.13.— P. 829-834.

4. Ghanekar AS, Padwal-Dessi SR, Nadkarni GB, Agric J. Irradiation of potatoes: influence on wound periderm formation and on resistance to soft rot. //Food Chem.—1983.— V.31. —P. 1009-1013.

5. Hayashi T, Todoriki S. Treatment of Foods with Soft-electrons (Low-energy Electrons). //JAERI-Conf.— 2002.—V.13.

6. Frazier MJ, Kleinkopf GE, Brey RR, Olsen NL. Potato sprout inhibition and tuber quality after treatment with high-energy ionizing radiation. //American journal of potato research. — 2006. V.83. —I.1.— P. 31-39.

7. Schwimmer S, Burr HK, Harrington WO, Weston WJ. Gamma irradiation of potatoes: effects on sugar content, chip color, germination, greening, and susceptibility to mold. //American potato journal.—1957.— V.34.— P.31-41.

8. Singh S, Singh N, Ezekiel R, Kaur A. Effects of gamma-irradiation on the morphological, structural, thermal and rheological properties of potato starches.// Carbohydrate polymers. —2010.—V.10.— P. 1016.

9. Alimov AS, Ishkhanov BS, Sakharov VP, Pakhomov NI, Shvedunov VI. Method for accelerating electrons in a linear accelerator and an accelerating structure for carrying out said method. US Patent 8,148,923 B2. Apr. 3, 2012a.

10. Alimov A.S., Ishkhanov B.S., Sakharov V.P., Pakhomov N.I., Shvedunov V.I. // Low-injection energy continuous linear electron accelerator. US Patent 8,169,166. May 1, 2012b.

11. Yurov DS, Alimov AS, Ishkhanov BS, Pakhomov NI, Sakharov VP, Shvedunov VI. Industrial Prototype of Compact CW LINAC. /Proceedings of RUPAC2014. Obninsk, Russia.—2014.—P. 248-250.

Germination inhibition of potato tubers under the influence of the electron beam with energy of 1 Mev

A.S. Alimov¹, U.A. Bliznuk¹, P.Y. Borschegovskaya², S.N. Elansky^{3,4}, A.P. Chernyaev^{1,2}, D.S. Yurov¹

1 – Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia

2 – Department of Physics of Accelerators and Radiation Medicine, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia

3 – Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia

4 – All-Russian A.G. Lorh Research Institute of Potato Farming, 140051, Kraskovo-1, Lorh str.,23. Moscow region, Russia.

Abstract.

Efficiency of radiation processing for germination inhibition of potato tubers by the accelerated electrons with energy 1 Mev is shown at doses more than 44 Gr. Doses more than 1 Kgr led to death of potato tubers. The analysis of external signs of tubers right after radiation, in 4 and 10 weeks of storage is carried out.

Keywords: : radiation treatment, ionizing radiation, accelerated electrons, potatoes, germination