



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КУРЧАТОВСКИЙ
ИНСТИТУТ



ДЛЯ СТРАНЫ
И МИРА



КУРЧАТОВСКИЙ
ГЕНОМНЫЙ ФОРУМ **2023**



II Международная молодежная конференция
**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

19-20 октября 2023, Обнинск,
НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ



НАУКА



КУРЧАТОВСКИЙ ГЕНОМНЫЙ ФОРУМ



II Международная молодежная конференция
«Генетические и радиационные технологии
в сельском хозяйстве»

National Research Centre «Kurchatov Institute»
Russian Institute of Radiology and Agroecology
of National Research Centre «Kurchatov Institute»

GENETIC AND RADIATION TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE

**Proceedings
of the 2nd International Young Scientists Conference**

Obninsk, October 19-20, 2023

Obninsk
2023

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве

**Сборник докладов
II Международной молодежной конференции**

Обнинск, 19-20 октября 2023 г.

Обнинск
2023

The effect of pre-sowing irradiation of seeds on the enzymatic activity and disease infestation of spring wheat seedlings has been studied in laboratory experiment. It has been shown that at doses of 3, 4 and 5 kGy in mode II (electron energy 120 keV) and at a dose of 1 kGy in mode I (electron energy 100 keV) statistically significantly increases the incidence of helminthosporiosis by 2.5-5.4 % and by 8.6-14.0 % the prevalence of helminthosporiosis on seedlings of spring wheat of the Iren variety and reduces by at the trend level, catalase activity in 7-day-old seedlings.

Keywords: *pre-sowing electronic irradiation of seeds, enzymatic activity, disease infestation of seedlings, spring wheat*

УДК 539.1.04

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО И РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЙ НА ВСХОЖЕСТЬ И ФИТОПАТОГЕННЫЙ СТАТУС СЕМЯН

Чибисова М.С.^{1,а}, Близнюк У.А.^{1,2}, Борщegovская П.Ю.^{1,2}, Чуликова Н.С.³, Малюга А.А.³,
Ипатова В.С.², Зубрицкая Я.В.¹, Никитченко А.Д.¹, Черняев А.П.^{1,2}, Юров Д.С.²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Физический факультет), 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Российская Федерация

² Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Российская Федерация

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, 630501, Новосибирская обл., Новосибирский р-он, р.п. Краснообск, ул. Центральная, д. 2Б, Российская Федерация

e-mail: ^achibisova.ms20@physics.msu.ru

В данной работе изучено влияние низкоэнергетического электронного и рентгеновского излучений на всхожесть и фитосанитарное состояние семян льна сорта «Северный», гибрида рапса «Билдер» и пшеницы сорта «Новосибирская 29» с естественным заражением фитопатогенными и плесневыми грибами. Показано, что обработка семян в диапазоне доз от 4 Гр до 150 Гр оказывает как стимулирующее, так и ингибирующее воздействие на биометрические и фитосанитарные показатели семян. Установлены дозы, стимулирующие всхожесть прорастания облученных семян, при этом снижающие общее количество и диаметр грибов: при обработке ускоренными электронами для семян льна доза 16 Гр, для рапса – 8 Гр и 60 Гр, для пшеницы – 40 Гр и 70 Гр; при обработке рентгеновским излучением семян льна эффективными дозами оказались 8 Гр, 12 Гр, 30 Гр, 40 Гр и 60 Гр, для рапса наблюдалось подавление грибов более чем на 46 % для всех доз облучения, при этом стимулирующий эффект на всхожесть оказали дозы 8 Гр, 16 Гр, 50 Гр и 100 Гр, для семян пшеницы не выработаны эффективные дозы, поскольку для всех доз облучения наблюдалось увеличение количества грибов более чем на 17 %.

Ключевые слова: *радиационная обработка, электронное излучение, рентгеновское излучение, доза облучения, лен, рапс, пшеница, биометрические показатели, фитосанитарное состояние*

В условиях экологической и политической ситуации в сочетании с резким увеличением численности населения планеты продовольственная безопасность и устойчивое развитие стали главной заботой на предстоящие годы [1]. Обработка почвы и сельскохозяйственных культур на различных стадиях формирования растений обеспечивает биоразнообразие и поддержание баланса экосистем, что является ключевым фактором для развития сельского хозяйства [2]. Радиационные технологии обладают большим потенциалом в области промышленной агробиотехнологии для повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур, подавления патогенной и грибковой микрофлоры, присутствующей в семенном материале, а также для подавления

прорастания корнеплодов, зерновых и масличных культур. Радиационная обработка сельскохозяйственных культур является экологически чистым и эффективным решением по сравнению с традиционными методами, использующими химические реагенты, опасные как для окружающей среды, так и для потребителей [3].

Многочисленными исследованиями показано, что дозы облучения от 5 Гр до 20 Гр используются для предпосевной обработки сельскохозяйственных культур с целью увеличения скорости прорастания растений, тем самым сокращая вегетационный период и снижая риск распространения грибковых и бактериальных заболеваний из почвы [4]. Более высокие дозы, варьирующиеся от 50 Гр до 150 Гр,

подавляют прорастание и частично подавляют образование парши и гнили на собранных корнеплодах [5]. В большинстве работ используется гамма-излучение от источников ^{60}Co и ^{137}Cs , однако с наблюдаемым мировым трендом в переходе к управляемым источникам ионизирующего излучения повышенный интерес представляют работы по исследованию влияния ускоренных электронов и тормозных фотонов на сельскохозяйственные культуры, в частности зерновые и масличные. При этом низкие энергии ускоренных электронов, а также тормозных рентгеновских фотонов, воздействуют исключительно на внешние слои облучаемых объектов, не оказывая при этом негативного воздействия на внутреннюю структуру облучаемых образцов.

Целью данной работы было изучение влияния низкоэнергетического рентгеновского и электронного излучений на всхожесть семян льна, рапса и пшеницы с естественным заражением фитопатогенными и плесневыми грибами, а также оценка их фитосанитарного состояния.

В качестве объектов исследования были выбраны семена пшеницы сорта «Новосибирская 29», гибрида рапса «Билдер» и льна сорта «Северный», зараженные естественным путем фитопатогенными и плесневыми грибами. Семена пшеницы, рапса и льна упаковывали по 30, 200 и 130 штук соответственно, в герметично закрывающиеся пакеты, что составляло по массе 1 г.

Облучение проводилось на ускорителе электронов непрерывного действия УЭЛР-1-25-T001 с максимальной энергией 1 МэВ (НИИЯФ МГУ, г. Москва), а также на аппарате 1BPV23-100 с рентгеновской трубкой RAD-100 и молибденовым анодом (ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, г. Москва). Для контроля и оценки поглощенной дозы использовали дозиметрический раствор Фрикке. Семена льна, рапса и пшеницы

облучали в дозах 0, 4, 8, 12, 16, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 100 и 150 Гр. Мощность дозы электронного излучения составила 0,2-1,3 Гр/с, а рентгеновского – 0,1 Гр/с.

После проведения облучения семена были доставлены в СФНЦА РАН для дальнейшего биометрического и фитосанитарного анализа. Из пакетов с облученными и контрольными семенами случайным образом отбиралось по 30 семян для каждой дозы, после чего культуры высевали по 10 штук в чашки Петри с питательной средой PDA (картофельный декстрозный агар), где они прорастали. В ходе эксперимента оценивали энергию прорастания К3 (измеряемую на 3-й день после посева на питательную среду) и константу всхожести семян К7 (измеряемую на 7-й день) в соответствии с ГОСТ 12038-84 [6]. Количество и диаметр колоний грибов на облученных и необлученных семенах определяли на 7-й день исследования.

Анализ экспериментальных данных показал нелинейную зависимость энергии прорастания и всхожести (К3 и К7), а также количества и диаметра грибов при облучении в дозах от 0 Гр до 150 Гр семян пшеницы (рис. 1), рапса (рис. 2) и льна (рис.3) электронным и рентгеновским излучением. Под положительным эффектом понимается стимулирование энергии прорастания и всхожести растений, а также подавление колоний грибов, под отрицательным эффектом – угнетение всхожести семян и стимулирование роста грибов.

При облучении электронным излучением наблюдалось значительное стимулирование энергии прорастания пшеницы на 3-и сутки К3 после посева на 126-401 % для всех доз относительно контрольных образцов. Всхожесть семян на 7-е сутки К7 также показала значения выше контрольных на 27-100 % для всех исследуемых доз.

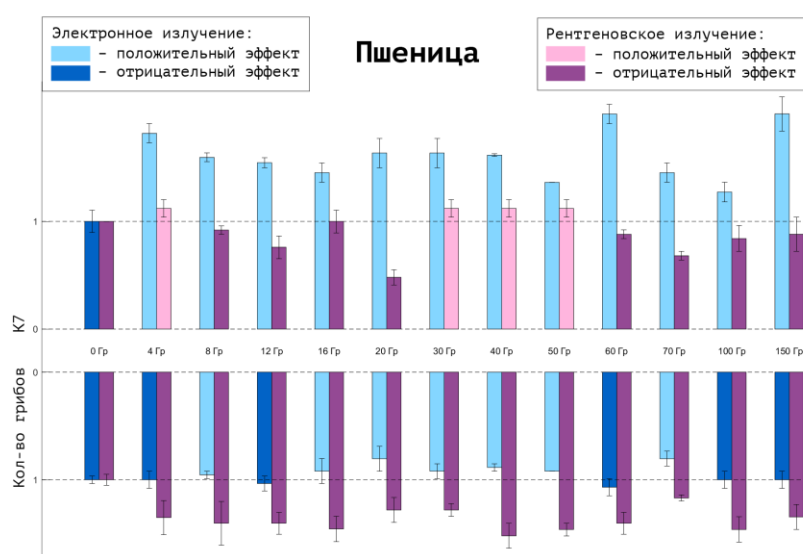


Рисунок 1. Зависимость относительных значений всхожести К7 и количества грибов от дозы облучения ускоренными электронами (синие столбцы) и рентгеновскими фотонами (розовые столбцы) для семян пшеницы

Большинство доз электронного излучения ингибировали количество грибов на 5-20 % и диаметр грибов на 1-8 % относительно контроля, однако для 12 Гр и 60 Гр наблюдалось незначительно повышение колоний на 5-7 %. Таким образом, выработанные эффективные дозы по суммарным показателям для семян пшеницы составили 40 Гр и 70 Гр.

При облучении рентгеновским излучением семян пшеницы возрастание значений К3 и К7 на 9-17 % наблюдалось при дозах 4 Гр, 30 Гр и 50 Гр, остальные дозы показали уменьшение параметров – на 12-52 % относительно контрольных показателей. Во всех дозах наблюдалось значительное повышение количества грибов по сравнению с контролем на 17-52 % при одновременном снижении их диаметра до 26 %. Однако, вследствие стимулирования роста колоний грибов на семенах пшеницы при обработке

рентгеновским излучением в дозах до 150 Гр эффективных доз выявлено не было.

Облучение семян рапса ускоренными электронами стимулировало К3 и К7 в диапазоне доз 4-16 Гр и 60-70 Гр. В половине доз грибы были полностью подавлены, в остальных дозах произошло резкое стимулирование роста колоний на 133-467 % относительно контроля. Эффективные дозы по совокупности данных составили 8 Гр и 60 Гр.

При облучении рапса рентгеновскими фотонами одновременное повышение значений К3 и К7 наблюдалось при 16 Гр, также стимулирующей для К7 оказалась доза 100 Гр. Все дозы эффективно снизили количество грибов на 46-77 % по сравнению с контрольными семенами. Таким образом, эффективными дозами по сумме показателей были выбраны 8 Гр, 16 Гр, 50 Гр и 100 Гр.

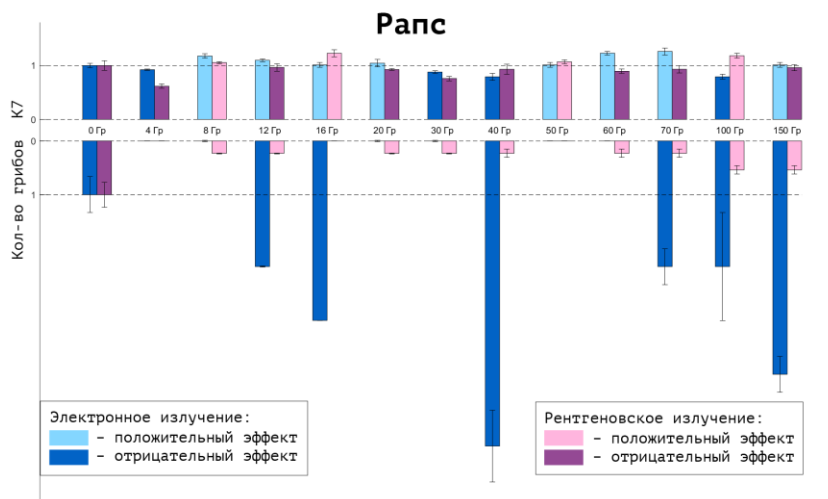


Рисунок 2. Зависимость относительных значений всхожести К7 и количества грибов от дозы облучения ускоренными электронами (синие столбцы) и рентгеновскими фотонами (розовые столбцы) для семян рапса

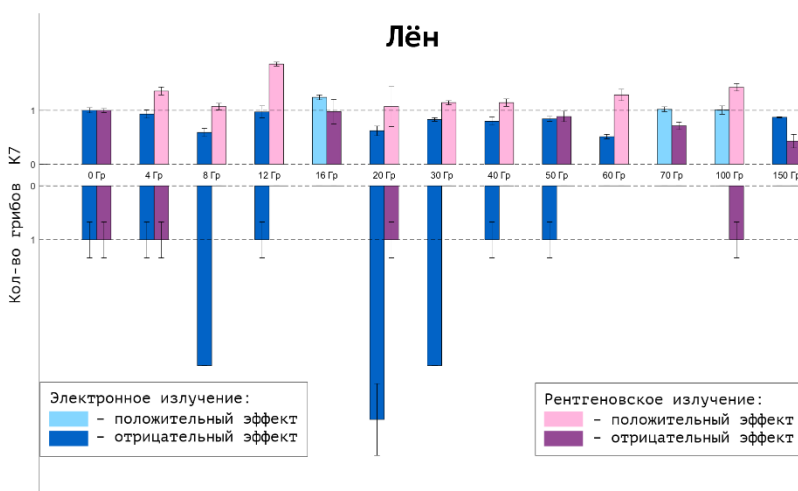


Рисунок 3. Зависимость относительных значений всхожести К7 и количества грибов от дозы облучения ускоренными электронами (синие столбцы) и рентгеновскими фотонами (розовые столбцы) для семян льна

При облучении семян рапса низкоэнергетическими электронами доза 16 Гр простимулировала значения всхожести К3 и К7 на 15–24 %, показатели остальных доз оказались значительно ниже контрольных. При дозах 8 Гр, 20 Гр и 30 Гр наблюдалось резкое увеличение колоний грибов относительно контроля на 182–359 %, но при высоких дозах 60–150 Гр грибы полностью отсутствовали. По совокупности данных доза облучения 16 Гр была выбрана как наиболее эффективная доза.

Облучение семян льна рентгеновским излучением привело к стимуляции значений К3 и К7 на 36–86 % при дозах 4 Гр, 12 Гр и 20 Гр, остальные дозы либо подавляли всхожесть, либо стимулировали только на 7-й день. Все дозы, кроме 4 Гр, 20 Гр и 100 Гр полностью подавили грибы, в остальных диаметр грибов был ниже более чем на 17 %, но их количество оставалось на уровне контрольных образцов. Эффективными дозами были выбраны 8 Гр, 12 Гр, 30 Гр, 40 Гр и 60 Гр.

В ходе проведенного исследования показано как стимулирующее, так и ингибирующее воздействия доз рентгеновского и электронного излучений в диапазоне доз от 0 Гр до 150 Гр на всхожесть растений и их фитосанитарное состояние. Для каждого вида семян и источника ионизирующего излучения были выработаны эффективные дозы по совокупности всех исследуемых параметров.

Анализ фитосанитарного состояния семян пшеницы, рапса и льна выявил широкий спектр как фитопатогенных грибов, таких как *Alternaria*, *Fusarium* и *Biolaris*, так и плесневых грибов *Aspergillus*, *Mucor* и *Penicillium* и *Trichoderma*. При этом количество фитопатогенов, найденных в пшенице, оказалось меньше, чем на семенах льна и рапса, однако, они оказались более стойкими к воздействию высоких доз облучения.

Все исследования проводились в лабораторных условиях, интересным представляется проведение

предпосевной обработки ионизирующим излучением семян в почвенно-климатических условиях Российской Федерации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №22-63-00075.

Список литературы

1. Galanakis C.M. The «Vertigo» of the Food Sector within the Triangle of Climate Change, the Post-Pandemic World, and the Russian-Ukrainian War // *Foods*. 2023. Vol. 12(4). PP. 721.

2. RGRU. URL: <https://rg.ru/2022/08/03/chto-poseesh.html> (дата обращения: 30.06.2023).

3. The pulsed X-ray treatment of wheat against pathogenic fungi / A.A. Isemlerlinova, I.S. Egorov, S.A. Nuzhnyh [et al.] // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 2021. Vol. 503. PP. 75–78.

4. Пономаренко П.А., Безотосный С.С., Фролова М.А. Стимуляционный эффект при спецобработке семян сельскохозяйственных культур гамма-лучами // *Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 26–28 сентября 2018 г.* Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. С. 112–114.

5. Impact of 1-MeV Election Beam Irradiation on the Phenology and Microflora of Potatoes / N.S. Chulikova, A.A. Malyuga, U.A. Bliznyuk [et al.] // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 2022. Vol. 86(12). PP. 1549–1556.

6. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Стандартинформ, 2011. С. 31.

IMPACT OF ELECTRON AND X-RAY IRRADIATION ON GERMINATION AND PHYTOPATHOGENIC STATUS OF CROPS

Chibisova M.S.^{1,a}, Bliznyuk U.A.^{1,2}, Borshchegovskaya P.Yu.^{1,2}, Malyuga A.A.³, Chulikova N.S.³, Ipatova V.S.², Zubritskaya Ya.V.¹, Nikitchenko A.D.¹, Chernyaev A.P.^{1,2}, Yurov D.S.²

¹ Federal State Educational Institution of Higher Professional Education Lomonosov Moscow State University (Faculty of Physics), Leninskie Gory 1, bld. 2, Moscow, Russian Federation, 119991

² Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, bld. 2, Moscow, Russian Federation, 119991

³ Siberian Federal Scientific Center of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Central st. 2B, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Novosibirsk district, Russian Federation, 630501
e-mail: ^a chibisova.ms20@physics.msu.ru

This study examines the influence of low-energy electron and X-ray radiation on the germination and phytosanitary condition of seeds of flax variety "Severny", rapeseed variety "Stroitel", and wheat variety "Novosibirskaya 29" with natural infection by phytopathogenic and mold fungi. It is shown that seed processing in the dose range of 4 Gy to 150 Gy has

both stimulating and inhibitory effects on the biometric and phytosanitary indicators of the seeds. The doses that stimulate the germination of irradiated seeds while reducing the total number and diameter of fungi were determined: for flax seeds processed with accelerated electrons, the dose is 16 Gy; for rapeseed – 8 Gy and 60 Gy; for wheat – 40 Gy and 70 Gy. For X-ray radiation processing effective doses for flax seeds were 8 Gy, 12 Gy, 30 Gy, 40 Gy, and 60 Gy; for rapeseed, suppression of fungi by more than 46% was observed for all irradiation doses, while doses of 8 Gy, 16 Gy, 50 Gy, and 100 Gy showed a stimulating effect on germination; for wheat seeds, effective doses were not determined as all irradiation doses resulted in an increase in the number of fungi by more than 17 %.

Keywords: radiation processing, electron radiation, X-ray radiation, irradiation dose, flax, rapeseed, wheat, biometric indicators, phytosanitary condition

УДК 533.922

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТЕРМАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГРИБКОВЫХ ФИТОПАТОГЕНОВ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Шишко В.И.^а, Петрухина Д.И.^б, Тхорик О.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», 249035, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1, Российская Федерация
e-mail: ^а valentine585@yandex.ru; ^б petrukhina.dari@yandex.ru

В данной работе рассматривается использование нетермальной атмосферной аргоновой плазмы (НААП) для борьбы с болезнями растений, в частности, для обеззараживания семян от грибковых патогенов. Обработка НААП позволяет эффективно снизить микробную нагрузку семян зерновых, улучшить их всхожесть и ростовые показатели, и даже дезактивировать грибковые патогены. Этот эффект достигается при помощи воздействия на семена непосредственно плазмой и ионизированным газом, а также при поливе ростков водой обработанной плазмой. Настоящая работа представляет обзор научных исследований, подтверждающих эффективность применения НААП в сельском хозяйстве и микробиологии для обеззараживания семян и борьбы с грибковыми патогенами.

Ключевые слова: НААП, нетермальная атмосферная аргоновая плазма, грибковые патогены, дезинфекция семян, сельское хозяйство, биологическая безопасность

Введение

В наше время с возрастающими изменениями в мировом климате проблема заболеваний растений, вызванных грибковыми патогенами, становится все более актуальной. Как показывают недавние исследования, эти патогены, становясь все более распространенными и устойчивыми, представляют серьезную угрозу для здоровья населения [1]. Кроме того, год от года наблюдается снижение урожайности сельскохозяйственных культур на 20-30 % из-за болезней растений [2]. Усиление климатических изменений, таких как повышение температуры и концентрации CO₂, может менять уровень восприимчивости растений к определенным патогенам, что в свою очередь способствует появлению новых болезней [3].

С учетом этих обстоятельств, традиционные методы контроля фитопатогенов, такие как использование пестицидов, становятся менее эффективными и связаны с рядом недостатков. Особое внимание ученых привлекает технология нетермальной плазмы – ионизированный газ с температурой, пригодной для воздействия на биообъекты. Во время генерации плазмы образуются свободные радикалы, которые

вызывают повреждения мембран и ДНК. Это свойство позволяет успешно применять плазму для уничтожения патогенных для растений микроорганизмов [4, 5].

Большинство исследований в этой области демонстрируют эффективное действие против фитопатогенов *in vitro* и дезинфекцию семян и растений [6, 7]. В данной работе мы проводим обзор технологии нетермальной плазмы, ее дезинфицирующие механизмы, а также исследуем потенциальное применение этой технологии в сельском хозяйстве.

Механизмы дезинфицирующего эффекта нетермальной плазмы

Механизмы обеззараживания семян при помощи плазмы до сих пор полностью не изучены, однако некоторые процессы можно определить. В частности, реактивные частицы, электроны, заряженные частицы и ультрафиолетовое излучение, генерируемые плазмой, имеют потенциальную способность наносить вред микроорганизмам [8]. Окислительное повреждение макромолекул, таких как мембранные липиды, белки и ДНК, может происходить под