

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ ФИТОПАТОГЕННОЙ МИКРОФЛОРЫ ОГУРЦА

Н.Н. Лой, кандидат биологических наук, **Н.И. Санжарова**, член-корреспондент РАН,
С.Н. Гулина, О.В. Суслова

*Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
249032, Калужская обл., Обнинск, Киевское шоссе, 109 км
E-mail: loy.nad@yandex.ru*

В лабораторных опытах исследовано влияние разных доз и режимов низкоэнергетического электронного облучения семян огурца сортов Нежинские и Изычные, отличающихся по скороспелости и устойчивости к болезням, на жизнеспособность фитопатогенной микрофлоры. Облучение проводили в диапазоне доз от 1 до 5 кГр с шагом 1 кГр при двух ускоряющих напряжениях – 100 кВ (режим I) и 130 кВ (режим II) и одной мощности дозы – 100 Гр/имп. Семена огурца сорта Нежинские закладывали на проращивание через 6 и 30 суток, сорта Изычные – через 6 и 7 суток после облучения. При пострadiaционном периоде (ПП) 6 суток пораженность проростков сорта Нежинские антракнозом снижалась при дозах 1, 3 и 4 кГр в режим I и дозе 3 кГр в режим II и, напротив, возрастала при дозе 5 кГр в режиме II. При ПП=30 суток облучение подавляло развитие фузариоза на проростках огурцов сорта Нежинские при дозе 1 кГр независимо от режима облучения и вызывало увеличение их пораженности болезнью при дозах 2...4 кГр в режиме II. У огурцов сорта Изычные при ПП=6 суток облучение вызвало снижение степени поражения проростков фузариозом при всех дозах кроме 5 кГр в режиме II. В целом при облучении в режиме I наблюдали более значимое снижение пораженности, чем в режиме II. При ПП=7 суток степень поражения проростков огурцов сорта Изычные фузариозом, как и распространенность болезни, увеличилась при дозе 2 кГр в режим I и дозах 1, 2 и 4 кГр в режиме II.

INFLUENCE OF ELECTRONIC RADIATION ON RADIO RESISTANCE OF PHYTOPATHOGENIC MICROFLORA OF CUCUMBER

Loy N.N., Sanzharova N.I., Gulina S.N., Suslova O.V.

*Russian Institute of Radiology and Agroecology,
249032, Kaluzhskaya obl., Obninsk, Kievskoe shosse, 109 km
E-mail: loy.nad@yandex.ru*

In laboratory experiments in 2020, the effect of different doses and modes of low-energy electron irradiation of seeds of cucumber varieties Nezhinskie and Grace, differing in early maturity and resistance to diseases, on the viability of phytopathogenic microflora was investigated. The seeds were irradiated in the dose range from 1 to 5 kGy in increments of 1 kGy at two accelerating voltages-100 kV (mode I) and 130 kV (mode II) and one dose rate – 100 Gy/imp. It was shown that the pre-sowing irradiation of cucumber seeds at the same radiation dose rate of 100 Gy / pulse and different accelerating voltages of 100 kV (mode I) and 130 kV (mode II) and the setting of seeds for germination during the post-radiation period (PP) of 6 days had an inhibitory effect on the infestation of seedlings of cucumbers variety Nezhinskie with anthracnose at doses of 1, 3, and 4 kGy (mode I) and a dose of 3 kGy (mode II) and, on the contrary, stimulated the development of anthracnose at a dose of 5 kGy under mode II. At PP = 30 days, irradiation suppressed the development of fusarium on seedlings of cucumbers of the Nezhinskii variety at a dose of 1 kGy, regardless of the irradiation regime and caused an increase in the incidence of fusarium on seedlings at doses of 2–4 kGy (mode II). In cucumbers of cultivar Graceful, the results of phytoexamination of 7-day-old seedlings revealed that at PP = 6 days, irradiation caused a decrease in the degree of damage to seedlings by Fusarium at all irradiation doses except for a dose of 5 kGy (mode II). It was noted that with irradiation in mode I, a more significant decrease in the incidence was observed than in mode II. At PP = 7 days, the degree of damage to the seedlings of cucumbers of the Graceful Fusarium variety by Fusarium, as well as the prevalence of the disease, increased at a dose of 2 kGy (mode I) and doses of 1, 2, and 4 kGy (mode II).

Ключевые слова: электронное излучение, радиорезистентность, фитопатогенная микрофлора, семена огурца, степень поражения проростков, распространенность болезни

Key words: electronic radiation, radioresistance, phytopathogenic microflora, cucumber seeds, the degree of damage to seedlings, the prevalence of the disease

В последние годы вопросы защиты сельскохозяйственных растений в системе возделывания культур выдвигаются на передний план и становятся особенно актуальными, так как развитие патогенной микрофлоры в почве и на семенном материале достигло критического уровня. Известно, что через семена передается более половины всех болезней растений. Именно они служат источником опасных и вредоносных заболеваний, наносящих значительный вред товарному производству. Поэтому во многих странах предпосевная обработка семян средствами защиты растений не только необходимая, но и законодательно обязательная технологический прием.

Большинство возделываемых овощных культур повреждаются многочисленными болезнями. Нередко их вредоносность столь велика, что наносимый урон составля-

ет значительную долю урожая (до 50 %). В отдельных регионах, особенно там, где возникают благоприятные для патогенов климатические условия (высокая влажность воздуха, повышенные или умеренные температуры), в годы эпифитотий большинство средств защиты оказывается малоэффективным и иногда гибнет почти весь урожай. [1].

Установлено, что 80 % болезней овощных культур передаются через семена и только 20 % – через почву. Поэтому для выращивания крепкой и здоровой рассады необходимо проведение предпосевной обработки – протравливание химическими препаратами, тепловая обработка и др. [2, 3].

В то же время для защиты биоразнообразия, которое поддерживает здоровье и функции почвы, способствуя продовольственной безопасности, необходимо

сокращение загрязнения пестицидами. Глобальная карта сельскохозяйственных земель, составленная учеными Сиднейского университета, показала, что риску загрязнения пестицидами подвержены 64 % площади, используемой под сельское хозяйство и выращивание продовольственных культур, в том числе высокому риску почти 30 % [2, 3, 4].

Во второй половине XX столетия получил развитие принципиально новый метод предпосевной подготовки семян, основанный на использовании энергии электромагнитных излучений. Его стали использовать, наряду с таким традиционными методами, как, например, воздушно-тепловой обогрев, характеризующийся высокой энерго-трудоемкостью. Это открывает возможности для решения важных агроэкологических и социально-экономических проблем, направленных на дальнейшее увеличение производства продукции растениеводства, снижение энергозатрат, предотвращение загрязнения окружающей среды [5, 6, 7, 8].

Цель исследования – изучение влияния электронного излучения на радиорезистентность фитопатогенной микрофлоры семян огурца различных сортов для снижения пораженности проростков болезнями.

Методика. Объект исследований – семена огурца обыкновенного (*Cucumis sativus*) сортов Нежинские и Изыщные. Работу проводили в 2020 г. на естественном инфекционном фоне, поэтому для исследований целенаправленно были выбраны сорта, которые не обладают устойчивостью к поражению корневыми гнилями.

Облучение осуществляли в ИСЭ СО РАН (г. Томск) на широкоапертурном электронном ускорителе «Дуэт» с сетчатым плазменным катодом и выводом генерируемого пучка большого сечения в атмосферу [9]. Эксперименты проводили при единой длительности и амплитуде тока пучка с разным ускоряющим напряжением (U): 100 кВ – I режим и 130 кВ – II режим. Суммарная введенная доза набиралась путем многократного воздействия на зерно электронным пучком (то есть зерно, расположенное на транспортере, несколько раз проходило под выводным окном ускорителя) и варьировалась в диапазоне 1,0...5,0 кГр с шагом 1 кГр. Мощность дозы излучения составляла 100 Гр/имп.

Семена изучаемых сортов огурца в количестве 160 шт. на один вариант (дозу) приклеивали между двух полосок скотча толщиной 50 мкм, что позволяло уложить их в один слой на расстоянии 20 мм от выводного окна ускорителя. При наборе дозы образец обязательно переворачивали на другую сторону с целью ее выравнивания в каждом семени.

После облучения семена проращивали в рулонах фильтровальной бумаги в течение 7 суток в термостате при температуре +20 °С по ГОСТ 12038-84. Семена огурца сорта Нежинские закладывали на проращивание через 6 и 30 суток, сорта Изыщные – через 6 и 7 суток после облучения, чтобы определить период, наиболее благоприятный для подавления микрофлоры семян огурца. Учет пораженности (степень поражения и распространенность) 7-исуточных проростков болезнями проводили по общепринятым методикам [10, 11].

Результаты и обсуждение. Фитоэкспертиза 7-исуточных проростков огурца сорта Нежинские, взятых на проращивание через 6 суток после облучения (постредиационный период (ПП) – 6 суток) выявила, что они были поражены тремя видами грибных болезней – гелиминтоспориозом (возбудитель *Helminthosporium* sp.), фузариозом (возбудитель *Fusarium oxysporum*) и антракнозом (возбудитель *Colletotrichum lagenarium*). Электронное облучение оказало ингибирующее влия-

ние (снижение в 5,8 раза) на пораженность проростков антракнозом при обработке в режиме I дозами 1, 3 и 4 кГр, в режиме II – в дозе 3 кГр и, напротив, стимулировало развитие антракноза при дозе 5 кГр при обработке в режиме I и II в 1,5 и 1,2 раза соответственно при $p < 0,95$ (рис. 1).

Пораженность проростков фузариозом при облучении дозой 1 кГр в режиме I увеличилась в 11 раз, в дозах 3 и 4 кГр в режиме II – соответственно в 9,8 и 6,8 раза (см. рис. 1а). Распространенность болезней снижалась или повышалась в той же зависимости от дозы облучения, как и пораженность (см. рис. 1б). Так, распространенность антракноза при облучении в дозах 1, 3 и 4 кГр (режим I) уменьшилась в 4 раза, а при дозе 5 кГр в режиме I и II – возросла в 2,2 и 1,5 раза соответственно. Распространенность фузариоза при дозе 1 кГр в режиме I увеличилась в 8 раз, 3 и 4 кГр в режиме II – в 5 раз.

При проращивании семян огурцов сорта Нежинские через 30 суток после облучения проростки были поражены в основном фузариозом, развитие которого снижалось в 2,1...4,3 раза при облучении дозой 1 кГр независимо от режима и повышалось в 1,7...3,1 раза ($p < 0,95$) при облучении дозами 2...4 кГр в режиме II (рис. 2а). Незначительное (менее 1 %) развитие гелиминтоспориоза отмечено при дозах 1 и 5 кГр (режим I) и 1 кГр (режим II), а облучение дозой 5 кГр вызвало рост пораженности проростков этим заболеванием выше 6 % (рис. 2а).

Увеличение степени поражения проростков огурца фузариозом при облучении дозами 2...4 кГр в режи-

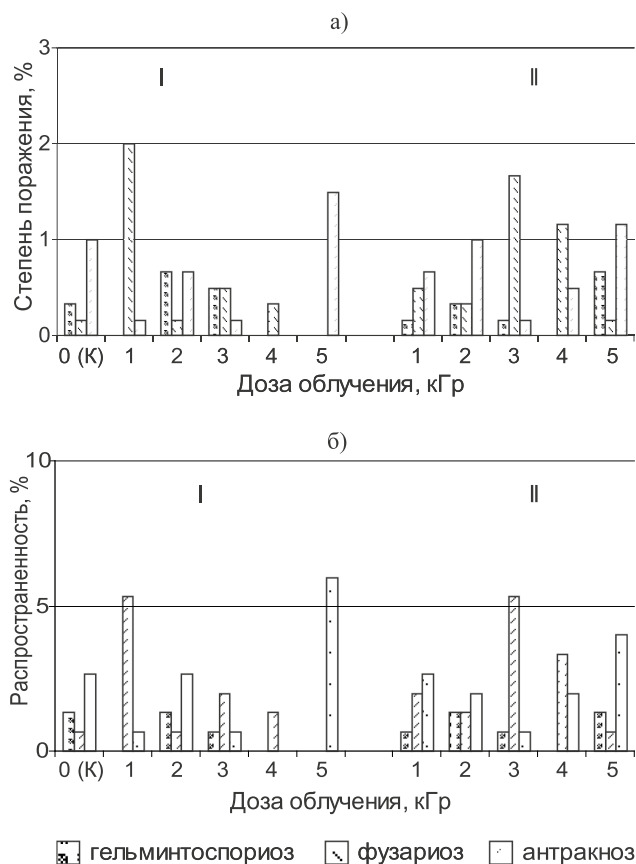


Рис. 1. Влияние облучения семян огурца сорта Нежинские на пораженность (а) проростков болезнями и их распространенность (б) при ПП=6 суток (здесь и далее I и II – режимы облучения).

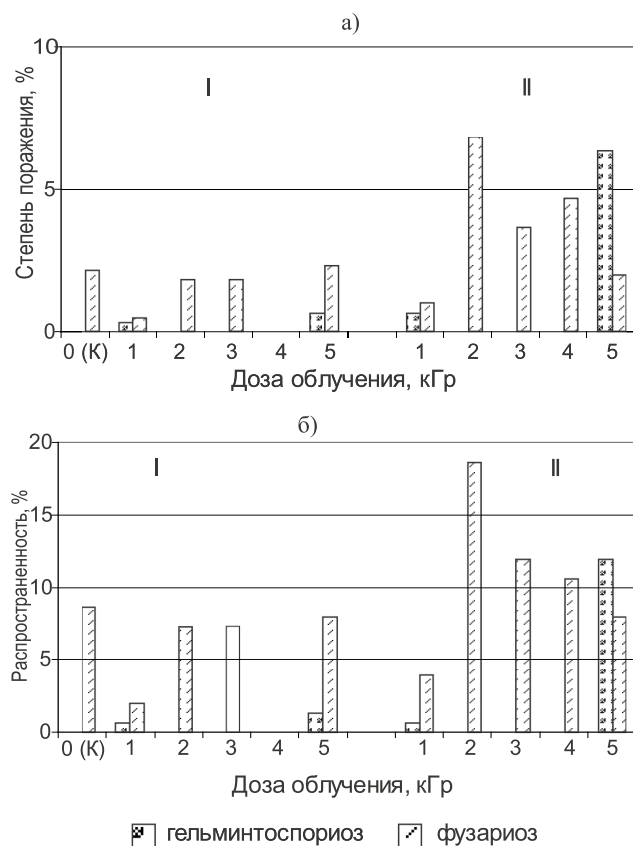


Рис. 2. Влияние облучения семян огурца сорта Нежинские болезнями на пораженность (а) проростков огурца и распространенность (б) при ПП=30 суток.

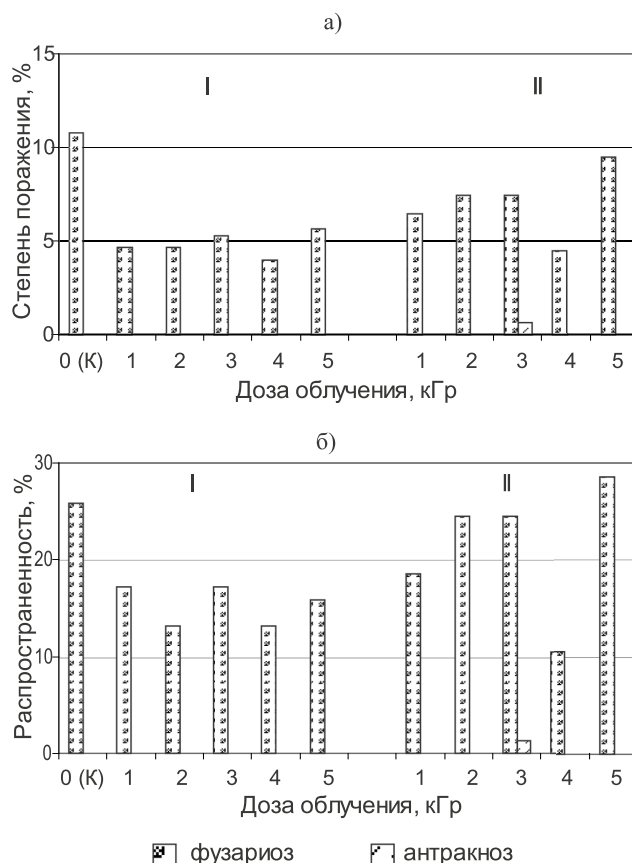


Рис. 3. Влияние облучения семян огурца сорта Изящные на пораженность (а) проростков болезнями и распространенность (б) при ПП=6 суток.

ме II и гелиминтоспориозом при дозе 5 кГр в режиме II, вероятно, можно объяснить более длительным временем (ПП=30 суток), прошедшим после облучения, вследствие чего его эффективность снизилась.

Распространенность болезни при ПП=30 суток имела те же зависимости от дозы облучения, что и степень поражения (рис. 2б). Для фузариоза она снижалась в 2,2...4,3 раза при облучении дозой 1 кГр независимо от режима и повышалась в 1,2...2,2 раза (при $p < 0,95$) в вариантах с дозами 2...4 кГр и режиме II.

Известно, что биологическая эффективность действия ионизирующих излучений на растения зависит не только от культуры, но и от сортовых особенностей. Результаты фитозэкспертизы 7-исуточных проростков огурцов сорта Изящные свидетельствуют, что при ПП=6 суток облучение вызвало снижение степени их поражения фузариозом при всех дозах облучения кроме 5 кГр в режиме II (рис. 3а). Одновременно при режиме I снижение пораженности было более значительным (в 1,9...2,7 раза), чем при режиме II (в 1,7...2,4 раза).

Наличие проростков огурца сорта Изящный, пораженных антракнозом, было отмечено только после облучения дозой 3 кГр в режиме II, тогда как в других вариантах возбудителей этой болезни на семенах не отмечали, поэтому провести сравнительный анализ не представлялось возможным.

Распространенность фузариоза при пострadiaционном периоде 6 суток также сильнее снижалась при режиме I. При облучении дозами 1...5 кГр в этом режиме уменьшение составляло в 1,5...1,95 раза, тогда как

при режиме II снижение наблюдали только в вариантах с дозами 1 и 4 кГр – в 1,4 и 2,4 раза соответственно (рис. 3б).

При увеличении пострadiaционного периода до 7 суток степень поражения проростков огурцов сорта Изящные фузариозом, как и распространенность болезни, увеличивалась, по сравнению с контролем, при дозе 2 кГр в I режиме в 1,9 раза, дозах 1, 2 и 4 кГр во II режиме – в 1,7...2,5 раза (рис. 4).

Результаты нашего исследования согласуются с данными, приведенными в работе [12], где предпосевное низкоэнергетическое электронное облучение

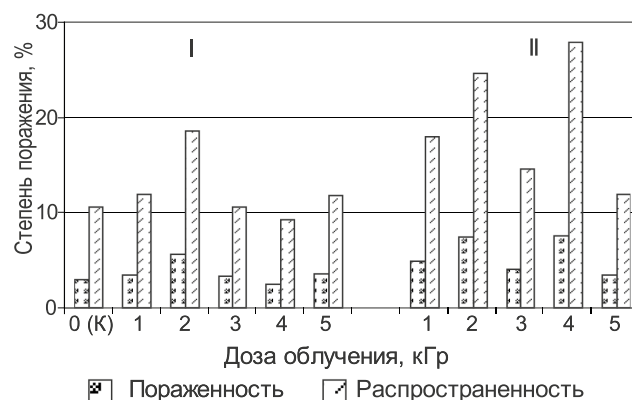


Рис. 4. Степень поражения и распространенность фузариоза на проростках огурца сорта Изящные при ПП=7 суток.

семян ячменя сорта Нур в диапазоне 1...5 кГр статистически значимо ($p < 0,05$) снижало степень поражения проростков *Drechslera teres* в зависимости от дозы и ее мощности (100 и 500 Гр/имп.) в 2...3 раза, *Penicillium* sp. – в 3,5...13,7 раза и не влияло на поражение проростков *Fusarium* sp. Уменьшение распространенности *Drechslera teres* варьировало от 1,5 до 3,2 раза, *Penicillium* sp – от 4 до 8 раз. При увеличении пострационального периода до 28 суток подавление развития (в 2...3 раза) отмечено только у возбудителя гельминтоспориоза *Drechslera teres* в основном при дозе 1,0 кГр.

В работе [13] было показано, что влияние предпосевной обработки семян ярового ячменя сорта Владимир низкоэнергетическим электронным пучком мощностью 500 Гр/имп. на развитие гельминтоспориоза зависит как от дозы (в диапазоне от 1 до 8 кГр), так и от продолжительности пострационального периода. Наиболее эффективное воздействие на *Drechslera teres* отмечено при ПП 4 суток: степень поражения болезнью при дозах 4...8 кГр снижалась на 33...48 %, распространенность – на 29...46 %. При ПП 7 и 11 суток облучение семян дозами 3...5 кГр уменьшало степень поражения проростков *Drechslera teres* на 30...37 % и 28...41 % соответственно. С увеличением пострационального периода до 14 суток и более эффективность облучения снижалась или отсутствовала вовсе.

Таким образом, проращивание обработанных низкоэнергетическим электронным облучением семян огурца через 6 суток после воздействия снижало пораженность проростков сорта Нежинские антракнозом при дозах 1, 3 и 4 кГр в режиме I (ускоряющее напряжение 100 кВ) и дозе 3 кГр в режиме II (ускоряющее напряжение 130 кВ), сорта Изящные – фузариозом при всех дозах облучения кроме дозы 5 кГр в режиме II. Обработка в режиме I снижала пораженность сильнее, чем в режиме II. Увеличение времени от облучения до закладки семян на проращивания более 6 суток также уменьшало эффективность исследуемого технологического приема.

Литература.

1. Бексеев Ш.Г. Большая энциклопедия огородничества. СПб.: Диля, 1999. 783 с.
2. Способы предпосевной подготовки семян и методика их моделирования / И.И. Бартнев, О.А. Подвигина, Д.С. Гаврин и др. // Лесотехнический журнал. 2018. № 4. С. 199–207.
3. Эффективность защитностимулирующих композиций для обработки семян зерновых, зернобобовых и крупяных культур в условиях Орловской области / Е.В. Кирсанова, Г.А. Борзенкова, Л.А. Тинякова и др. // Вестник ОрелГАУ. 2012. № 4(12). С. 39–45.
4. 64% сельхозземель в мире подвержены риску загрязнения пестицидами // Агробизнес. 30 марта 2021. URL: <https://agbz.ru/news/64-selkhozemel-v-mire-podverzheny-risku-zagryazneniya-pestitsidami> (дата обращения: 02.04.2021)
5. Лавринова В.А., Чекмарев В.В., Гусев И.В. Общие принципы развития исследований по защите зерновых культур от болезней в Тамбовской области // Земледелие. 2018. № 1. С. 27–31.
6. Соболева О.М. Динамика численности микроорганизмов на поверхности зерновок ржи и ячменя после электромагнитной обработки // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 9. С. 21–23.
7. Исследование и разработка установок для предпосадочной обработки клубней картофеля воздействием электрофизических факторов / А.И. Котин, Г.В. Новикова, П.В. Зайцев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 1 (52). С. 89–93.
8. Беспалько В.В., Бурак Ю.И. Влияние предпосевной обработки семян микроволновым полем в сочетании с регулятором роста и биопрепаратом на посевные качества и урожайные свойства ячменя ярового // Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры». 2014. № 4 (12). С. 133–138.
9. Vorobyov M.S., Koval N.N., Sulakshin S.A. An electron source with a multiaperture plasma emitter and beam extraction into the atmosphere // Instrum. Exp. Tech. 2015. 58. No. 5. P. 687–695.
10. Войтова Л.П. 1980 Анализ семян ячменя на зараженность корневой гнилью // Защита растений. 1980. № 2. С. 48–49.
11. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения качества. Часть 2. Государственные стандарты Союза ССР. ГОСТ 12044-81. Методы определения зараженности болезнями. Москва, 1991. С. 250–251.
12. Application of ionizing radiation for the protection of grain from pests and diseases / Chizh T.V., Loy N.N., Pavlov A.N., et al. // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1115. No. 2. 022025. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1115/2/022025> (дата обращения: 20.03.2021). doi: 10.1088/1742-6596/1115/2/022025.
13. Influence of electronic irradiation on the affection of barley by root rot / Loy N.N., Sanzharova N.I., Gulina S.N., et al. // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1393. 012107. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1393/1/012107> (дата обращения: 18.03.2021). doi: 10.1088/1742-6596/1393/1/012107.

Поступила в редакцию 06.04.2021

После доработки 18.05.2021

Принята к публикации 25.06.2021