

Влияние предпосевной обработки переменными магнитными полями и повышенных доз органических удобрений на урожай картофеля

В. Г. Зайнуллин*, А. М. Турлакова*,
А. Н. Пожирицкая*, Е. А. Галкина**, В. Г. Грязнов**

* Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар

** Научный центр, ОАО «Концерн "ГРАНИТ"»,
г. Москва

zainullin.v.g@yandex.ru

Аннотация

В последние годы все чаще стали обращать внимание на поиск новых технологий, повышающих урожайность сельскохозяйственных растений. Особый интерес с этой точки зрения представляют технологии применения импульсных электромагнитных полей в радиоволновом диапазоне.

Исследования выполняли на экспериментальных участках Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в соответствии со стандартными методами. Клубни картофеля разных сортов перед посадкой подвергали электромагнитному воздействию устройством «ТОР» в режиме 15/5 (15 мин воздействия, 5 мин перерыва, три раза в день перед посадкой) с индивидуальным спектром воздействия.

Показано увеличение скорости всходов картофеля, повышение урожайности после обработки. Внесение повышенных доз органических удобрений привело к существенному повышению урожайности и снизило эффект предпосевной обработки ЭМИ, но не отразилось на повышении числа клубней на куст у обработанных вариантов сорта Печорский.

Ключевые слова:

картофель, сорта, сортообразцы, электромагнитное излучение, эми, урожайность

Возможность более полно реализовать генетический потенциал обеспечивают не только погодные условия, но и благоприятный агрофон сельскохозяйственных культур, обеспеченный органическими и минеральными удобрениями. Однако длительное применение органических и минеральных удобрений может отразиться на агрофизических свойствах почв, что особенно важно для агроценозов северных и арктических территорий. Поэтому поиск иных факторов, повышающих урожайность сельскохозяйственных культур, является актуальным.

Показано, что воздействие переменного электромагнитного поля на семена растений в период их покоя при-

Effect of pre-sowing treatment with alternating magnetic fields and increased doses of organic fertilizers on potato yield

V. G. Zainullin*, A. M. Turlakova*, A. N. Pozhiritskaya*, E. A. Galkina**, V. G. Gryaznov**

* Institute of Agrobiotechnologies, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar

** Science Centre, OAO Concern Granite,
Moscow

zainullin.v.g@yandex.ru

Abstract

In recent years, attention has increasingly been paid to the search for new technologies that increase the productivity of agricultural plants. From this point of view, technologies for the use of pulsed electromagnetic fields in the radio wave range are of particular interest.

The studies were carried out in experimental plots of the Institute of Agrobiotechnologies, Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences in accordance with standard methods. Before planting, potato tubers of different varieties were subjected to electromagnetic radiation by the TOR device in the 15/5 mode (15 minutes of action, 5 minutes of break, three times a day before planting) with an individual spectrum of action.

We observed an increase in the shooting rate of potato and a rise in yield after electromagnetic treatment. The introduction of increased doses of organic fertilisers significantly increased the yield and reduced the effect of pre-sowing electromagnetic irradiation but did not affect the increase in number of tubers per potato bush observed in the treated variants of the Pechorsky variety.

Keywords:

potato, varieties, samples, electromagnetic radiation, productivity

водит к существенным изменениям в физиологии семян при прорастании. Как низкочастотное, так и высокочастотное электромагнитные поля способны привести к эффекту биостимуляции семян [1, 2]. Выявлено, что воздействие на семена пшеницы магнитного поля с показателями 12,5 и 25 мТл в течение 6 дней с длительностью воздействия 15 и 30 мин в сутки привело к увеличению содержания воды, хлорофилла и каротиноидов. Установлена зависимость между экспрессией генов и соответствующими параметрами, особенно при магнитной индукции 25 мТл в течение 30 мин, причем изменения наблюдались во всех генах по сравнению с контрольной группой [3]. Анализ

транскриптома выявил изменения в количестве транскриптов при воздействии электромагнитного излучения (далее – ЭМИ). Количественная полимеразная цепная реакция в реальном времени подтвердила дерегулирование некоторых процессов метаболизма ДНК. Более глубокими были изменения в размерах пула метаболитов с изменениями в фотосинтетическом и центральном энергетическом метаболизме [4].

В нашей работе мы оценили эффективность технологии дистанционной электромагнитной обработки и повышенного содержания органических удобрений на показатели качества урожая картофеля с разной историей обработки слабыми неионизирующими импульсными полями.

Материалы и методы

Оценку эффективности воздействия на картофель переменных электромагнитных полей (далее – ПЭМП) проводили на экспериментальных площадках Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Как уже отмечалось нами [5], экспериментальный участок характеризуется высоким уровнем грунтовых вод, ранее его никогда не использовали под сельскохозяйственные посадки и не вносили органические и минеральные удобрения.

По данным ФГБУ САС, опытное поле характеризуется на сентябрь 2023 г. следующими показателями: $pH_{\text{сол}} = 5,5$, гидролитическая кислотность – 1,53 Ммоль/100 г, подвижные соединения фосфора – 906,5 млн⁻¹ (мг/кг), подвижные соединения цинка – 9,90, подвижные соединения марганца – 5,12, подвижные соединения калия – 71,7, обменный кальций – 12,00, обменный магний – 6,50, азот щелочногидролизующий – 151 млн⁻¹ (мг/кг). В октябре 2023 г. на опытное поле было внесено органическое удобрение (120 т/га). По данным ФГБУ САС от 22.05.2024 (протокол № 2), участок имел следующие показатели: $pH_{\text{сол}} = 4,91$, гидролитическая кислотность – 5,25 Ммоль/100 г, подвижные соединения цинка – 13,6 млн⁻¹ (мг/кг), подвижные соединения марганца – 26,6, подвижные соединения меди – 3,34, подвижная сера – 7,20, подвижные соединения фосфора – 676,5, подвижные соединения калия – 229,5 млн⁻¹ (мг/кг), органическое вещество – 5,23 %. При сравнении данных показателей видно, что после осеннего внесения органических удобрений в почву увеличилось содержание макро- и микроэлементов, существенно увеличались показатели гидролитической кислотности.

Закладка делянок по оценке влияния ПЭМП картофеля осуществлена согласно общепринятой методике с соблю-

дением требований к плотности посадки и числу повторностей [6]. Эксперимент был выполнен на однорядковых делянках в четырех повторностях, площадь одной делянки – 5,25 м².

Клубни картофеля весом 50–80 г (вторая фракция) перед посадкой подвергали электромагнитному воздействию аппаратом «ТОР-био» в режиме 15/5 (15 мин воздействия, 5 мин перерыва в течение 1 ч перед посадкой) с частотой импульса 125 Гц. Показатели периодического магнитного поля на расстоянии 10 см от излучателя аппарата «ТОРбио» не превышали значения 1,5 мкТл с точностью 0,22 мкТл, электрической компоненты излучения – не более значений 214 В/м с точностью 32 В/м, плотность мощности излучения на частоте 2,45 ГГц не превышала 36 мкВт/см² (ОАО «Концерн "ГРАНИТ"») [7, 8]. Обработывались клубни урожая 2023 г. и потомство клубней, обработанных ЭМИ в 2021, 2022 и 2023 гг. Полевые наблюдения за сортами картофеля выполнены по стандартной схеме [9].

Оценка метеорологических условий 2021, 2022, 2023 гг. выполнена на основании данных сайта <http://www.pogodaiklimat.ru/> по г. Сыктывкару (рис. 1) и <https://pogoda.turtella.ru/russia/syktyvkar/archive?ysclid=m0v231tn15912056606> (рис. 2).

Положительные погодные показатели в мае 2023 г. обеспечили достаточно раннюю посадку картофеля (25.05.2023) в сравнении с 2022 г. (07.06.2022). В июне 2023 г. средняя температура была ниже средней многолетней нормы, количество осадков ниже средней многолетней на 38,2 мм, что отрицательно отразилось на развитии ранней стадии картофеля – период появления всходов оказался растянут. В 2024 г. среднесуточная температура была, наоборот, выше, достаточное количество осадков привело к обильному росту зеленой массы.

Средняя температура воздуха за июль, равно и август, 2023 и 2024 гг. была выше средней многолетней нормы.



Рисунок 1. Динамика погодных условий вегетационного периода 2023 года.
Figure 1. Dynamics of weather conditions of the growing season in 2023.

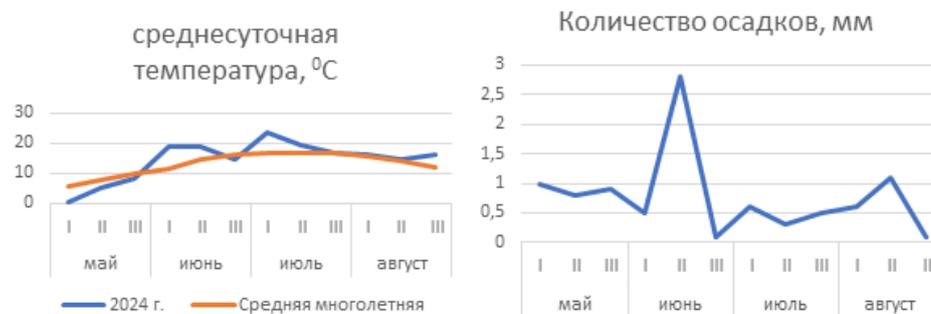


Рисунок 2. Динамика погодных условий вегетационного периода 2024 года.
Figure 2. Dynamics of weather conditions of the growing season in 2024.

Однако количество осадков 2024 г. было ниже среднегодового значения и, соответственно, показателя 2023 г.

Как видно из рис. 1 и 2, динамика температур и осадков вегетационных периодов 2023 и 2024 гг. различается. Невысокие температуры в мае 2024 г. обусловили позднюю посадку картофеля. Высокие температуры июня и июля и дефицит осадков сказались на качестве урожая – высокая доля нетоварного картофеля.

Результаты и их обсуждение

Из рис. 3 видно, что динамика всходов сортообразца Печорский после обработки ЭМИ в 2023 г. отличается от динамики всходов сортообразца Печорский Т (обработка 2021–2023 гг.) и сорта Зырянец, обработанных в 2023 г. и 2021–2023 гг. Эффективность однократной обработки была выше по сравнению с многократной (на протяжении 2021–2023 гг.).

Различия в реакции у сортообразца Печорский на однократную и многократную (ежегодную) обработки от сорта Зырянец могут свидетельствовать об отличиях в реакции этих генотипов на воздействие ЭМИ. Такое же предположение можно высказать обсуждая неравные реакции на однократную и многократную обработки сортообразца Печорский – динамика всходов у варианта Печорский Т отличается от динамики всходов у однократно обработанного варианта сортообразца Печорский.

В 2024 г. на опытном поле были высажены клубни, обработанные только в 2024 г., и картофель урожая от клубней, обработанных в 2021, 2022, 2023 и 2024 гг. (Э, ТЭ), и их контрольные (необработанные варианты, К, ТК). Если рассматривать данные динамики фенологических показателей, то реакция изучаемых сортов и вариантов была сходной с картиной 2023 г. – более ранние всходы у обработанного сортообразца Печорский.

На рис. 4 представлены данные биометрических показателей по фракционному составу (НСР = 0,17) и числу клубней на куст (НСР = 5,4) при учете раннего урожая. Следует отметить, что уже при учете раннего урожая были выявлены отличия в массе картофеля у контрольных вариантов, однако эти отличия обусловлены массой клубней весом более 80 г. Масса клубней менее 40 г и масса клубней второй фракции у семян, обработанных ЭМИ в 2024 г., больше, чем у необработанных. Данное заключение подтверждают результаты по оценке числа клубней на куст – число клубней на куст у обработанных в 2024 г. растений было выше, чем у необработанных. Подводя итог рассмотрению результатов учета раннего урожая, можно отметить, что внесение органических удобрений на участок сказалось на массе клубней, а дополнительная обработка ПЭМП привела к увеличению числа клубней на куст.

Как видно из рис. 5, величина общего урожая контрольных вариантов сортообразца Печорский (Печорский К,

Печорский ТК) выше, чем у обработанных вариантов. Превышение показателей общего урожая контрольных вариантов над показателями урожая обработанных вариантов сортообразца Печорский мы склонны объяснять существенным изменением плодородия экспериментального участка после внесения органических удобрений. Что касается сортов Гала, Зырянец, Аврора, мониторинг за которыми осуществлялся в 2021–2024 гг., то их реакция на электромагнитную обработку была незначительна.

Из приведенных данных биометрических показателей общей урожайности видно (таблица), что среднее количество клубней на куст в урожае обработанных клубней фракций существенно больше, чем в урожае от необработанных ЭМИ (НСР=2,14). Превышение показателей общего урожая, полученного от необработанных в 2024 г. клубней, можно объяснить улучшенным плодородием экспериментального участка. Необходимо отметить, что урожайность варианта Печорский ТЭ выше, чем у варианта Печорский Э. В данном случае можно предположить, что эти отличия связаны с изменениями генотипа после обработки ЭМИ.

Известно, что факторы окружающей среды могут приводить к эпигенетическим изменениям, которые отражают адаптацию к новым условиям. При исследовании

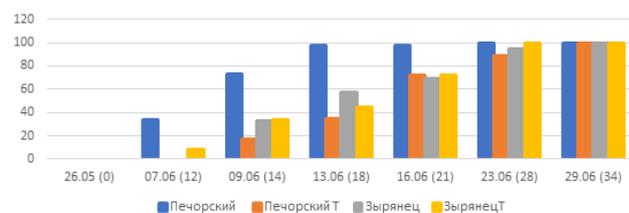


Рисунок 3. Динамика всходов сортов картофеля, %.
Figure 3. Dynamics of potato varieties sprouting, %.



Рисунок 4. Биометрические показатели раннего урожая (65-й день).
Figure 4. Biometric indices of early harvest (day 65).



Рисунок 5. Общая урожайность сортов картофеля после обработки электромагнитным излучением (85-й день).
Figure 5. Total yield of potato varieties after electromagnetic radiation treatment (day 85).

Biometric indices of total yield (day 85)

Название сорта / вариант	Менее 40 г		40-80 г		Более 80 г	
	Вес, кг	Число, шт.	Вес, кг	Число, шт.	Вес, кг	Число, шт.
Печорский К	5,8	127	11,9	214	39,6	250
Печорский Э	10,8	425	15,2	230	16,6	132
Печорский ТК	8,6	144	22,1	340	36,4	222
Печорский ТЭ	9,5	408	15,8	274	22,9	199

подсолнечника (*Helianthus annuus*) было обнаружено, что кратковременное (5–15 мин) воздействие на растения ПЭМП частотой 5,28 МГц является эффективным сигналом окружающей среды, который изменяет содержание почти 100 белков (большинство из них связано с фотосинтезом), лежащих в основе изменений экспрессии генов [10]. Таким образом, можно предположить, что в результате воздействия на клубни картофеля сорта Печорский в течение трех вегетационных периодов и, вероятно, сорта Зырянец неионизирующими импульсными полями могли возникнуть изменения генотипа, реализующиеся в отличиях реакций на дополнительные действия факторов среды.

Завершая рассмотрение результатов, следует отметить, что в условиях Республики Коми сорта местной селекции более чувствительны к воздействию ЭМИ. Получены данные, свидетельствующие о том, что предпосевная обработка клубней влияет на рост и развитие картофеля. Как было показано нами ранее [16], обработка ЭМИ приводит к усиленному образованию клубней, что, без сомнения, должно способствовать повышению общей урожайности при полном, достаточном обеспечении органоминеральными удобрениями, что и было нами обнаружено в эксперименте 2024 г.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Radhakrishnan, R. Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses / R. Radhakrishnan // *Physiol mol biol plants* (September–October 2019) 25(5):1107–1119. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00699-9> (date of access: 24.06.2024).
2. Влияние низкочастотного и высокочастотного электромагнитного поля на семена / Л. Г. Калинин [и др.] // *Биофизика*. – 2005. – Т. 50, № 2. – С. 361–366.
3. Erez, Mehmet Emre. Magnetic field effects on the physiologic and molecular pathway of wheat (*Triticum turgidum* L.) germination and seedling growth / Mehmet Emre Erez, Muhsin Özbek // *Acta Physiologiae Plantarum* (2024) 46:5. – URL: <https://doi.org/10.1007/s11738-023-03631-7> (date of access: 4.06.2024).
4. Schmidpott, S. M. Scrutinizing the impact of alternating electromagnetic fields on molecular features of the model plant *Arabidopsis thaliana* / S.M. Schmidpott, S. Danho, V. Kumar, T. Seidel, W. Schöllhorn [et al.] // *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 5144. – URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph19095144> (date of access: 4.06.2024).

doi.org/10.3390/ijerph19095144 (date of access: 4.06.2024).

5. Применение слабых импульсных электромагнитных полей в растениеводстве: прогресс в повышении урожайности картофеля / Е. В. Бондарчук [и др.] // *Картофель и овощи*. – 2023. – № 2. – С. 35–40.
6. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
7. Методические положения. По проведению оценки сортов и гибридов картофеля на испытательных участках / Е. В. Журавлева [и др.] // *ФГБНУ ВНИИКХ*. – Москва, 2017. – 11 с.
8. Mildažienė. Treatment of common sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds with radio-frequency electromagnetic field and cold plasma induces changes in seed phytohormone balance, seedling development and leaf protein expression / Mildažienė [et al.] // *Sci Rep* 2019. 9(1):6437. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42893-5> (date of access: 04.06.2024).

References

1. Radhakrishnan, R. Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses / R. Radhakrishnan // *Physiol mol biol plants* (September–October 2019) 25(5):1107–1119. – URL: <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00699-9> (date of access: 24.06.2024).
2. Vliyanie nizekchastotnogo i vysokochastotnogo elektromagnitnogo polya na semena [Effect of low-frequency and high-frequency electromagnetic field on seeds] / L. G. Kalinin [et al.] // *Biofizika* [Biophysics]. – Moscow, 2005. – Vol. 50, № 2. – P. 361–366.
3. Erez, Mehmet Emre. Magnetic field effects on the physiologic and molecular pathway of wheat (*Triticum turgidum* L.) germination and seedling growth / Mehmet Emre Erez, Muhsin Özbek // *Acta Physiologiae Plantarum* (2024) 46:5. – URL: <https://doi.org/10.1007/s11738-023-03631-7> (date of access: 4.06.2024).
4. Schmidpott, S. M. Scrutinizing the impact of alternating electromagnetic fields on molecular features of the model plant *Arabidopsis thaliana* / S.M. Schmidpott, S. Danho, V. Kumar, T. Seidel, W. Schöllhorn [et al.] // *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 5144. – URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph19095144> (date of access: 4.06.2024).
5. Bondarchuk, E. V. Primeneniye slabyykh impulsnykh elektromagnitnykh poley v rasteniyevodstve: progress v povyshenii urozhaynosti kartofelya [Application of weak pulsed electromagnetic fields in crop production: progress in increasing potato yields] / E. V. Bondarchuk [et al.] // *Kartofel i ovoshchi* [Potato and Vegetables]. – 2023. – № 2. – P. 35–40.
6. Dospikhov, B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy) [Methodology of field experiment (with basics of statistical processing of research results)] / B. A. Dospikhov. – Moscow : Agropromizdat, 1985. – 351 p.

7. Metodicheskiye polozheniya po provedeniyu otsenki sortov i gibridov kartofelya na ispytatelnykh uchastkakh [Methodological provisions on evaluation of potato varieties and hybrids in test plots]. – FSBI All-Russian Research Institute of Potato Farming. – Moscow, 2017. – 11 p.
8. Mildažienė. Treatment of common sunflower (*Helianthus annuus* L) seeds with radio-frequency electromagnetic field and cold plasma induces changes in seed phytohormone balance, seedling development and leaf protein expression / Mildažienė [et al.] // Sci Rep 2019. 9(1):6437. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42893-5> (date of access: 04.06.2024).

Благодарность (госзадание):

Исследования выполнены в рамках государственного задания FUUU-2024-0015 (регистрационный номер ЕГИСУ НИОКТР 1024031100067-7-4.1.1).

Acknowledgements (state task)

The research was performed within the state task FUUU-2024-0015 (registration number ЕГИСУ НИОКТР 1024031100067-7-4.1.1).

Информация об авторах:

Зайнуллин Владимир Габдуллович – профессор, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; Scopus Author 6701715250; ORCID 0000-0002-937-1170; <http://elibrary.author.profile.asp?authorid=78291> (167023, Российская Федерация, г. Сыктывкар, ул. Ручейная, д. 27; e-mail: zainullin.v.g@yandex.ru).

Турлакова Антонина Марсовна – младший научный сотрудник Института агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; http://elibrary.ru/project_author_tools.asp (167023, Российская Федерация, г. Сыктывкар, ул. Ручейная, д. 27; e-mail: turlakova100krapt@mail.ru).

Пожирицкая Александра Николаевна – младший научный сотрудник Института агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; http://elibrary.ru/project_author_tools.asp (167023, Российская Федерация, г. Сыктывкар, ул. Ручейная, д. 27; e-mail: alexa-rgz@yandex.ru).

Галкина Екатерина Анатольевна – научный специалист Научного центра АО «Концерн "ГРАНИТ"»; ORCID 0000-0003-3824-2577 (Российская Федерация, г. Москва; e-mail: info@granit-concern.ru).

Грязнов Валерий Георгиевич – заместитель руководителя Научного центра АО «Концерн "ГРАНИТ"»; ORCID 0000-0001-57516815 (Российская Федерация, г. Москва; e-mail: info@granit-concern.ru).

About the authors:

Vladimir G. Zainullin - Professor, Doctor of Sciences (Biology), Leading Researcher at the A. V. Zhuravskiy Institute of Agrobiotechnologies, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Scopus Author 6701715250; ORCID 0000-0002-937-1170; <http://elibrary.author.profile.asp?authorid=78291> (27 Rucheynaya st., Syktyvkar, 167023 Russian Federation; e-mail: zainullin.v.g@yandex.ru).

Antonina M. Turlakova - Junior Researcher at the A. V. Zhuravskiy Institute of Agrobiotechnologies, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; http://elibrary.ru/project_author_tools.asp (27 Rucheynaya st., Syktyvkar, 167023 Russian Federation; e-mail: turlakova100krapt@mail.ru).

Alexandra N. Pozhiritskaya - Junior Researcher at the A. V. Zhuravskiy Institute of Agrobiotechnologies, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; http://elibrary.ru/project_author_tools.asp (27 Rucheynaya st., Syktyvkar, 167023 Russian Federation; e-mail: alexa-rgz@yandex.ru).

Ekaterina A. Galkina - Research Specialist at the Science Centre, OAO Concern Granite; ORCID 0000-0003-3824-2577 (Moscow, Russian Federation, e-mail: info@granit-concern.ru).

Valeriy G. Gryaznov - Deputy Head of the Science Centre, OAO Concern Granite; ORCID 0000-0001-57516815 (Moscow, Russian Federation, e-mail: info@granit-concern.ru).

Для цитирования:

Зайнуллин, В. Г. Влияние предпосевной обработки переменными магнитными полями и повышенных доз органических удобрений на урожай картофеля / В. Г. Зайнуллин, А. М. Турлакова, А. Н. Пожирицкая [и др.] // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Сельскохозяйственные науки». – 2024. – № 7 (73). – С. 48–53.

For citation:

Zainullin, V. G. Vliyaniye predposevnoy obrabotki peremennymi magnitnymi polyami i povyshennyh doz organicheskikh udobrenij na urozhaj kartofelya [Effect of pre-sowing treatment with alternating magnetic fields and increased doses of organic fertilizers on potato yield] / V. G. Zainullin, A. M. Turlakova, A. N. Pozhiritskaya, E. A. Galkina, V. G. Gryaznov // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Agricultural Sciences". – 2024. – № 7 (73). – P. 48–53.

Дата поступления статьи: 11.09.2024

Прошла рецензирование: 29.10.2024

Принято решение о публикации: 26.09.2024

Received: 11.09.2024

Reviewed: 29.10.2024

Accepted: 26.09.2024