

Урожайность картофеля после электромагнитной обработки слабыми неионизирующими импульсными полями

В.Г. Зайнуллин¹, Е.А. Шульгина²

¹ Институт агробιοтехнологий им. А.В. Журавского
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар

² АО «Концерн ГРАНИТ»,
г. Москва
zainullin.v.g@yandex.ru

Аннотация

Оценена эффективность электромагнитной обработки сортов картофеля селекции Института агробιοтехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН на урожайность. Выявлено, что в условиях вегетационного периода 2021 и 2022 гг. обработка привела к значимому увеличению урожайности сортов местной селекции.

Ключевые слова:

картофель, электромагнитные поля, урожайность

С учетом наблюдающихся изменений климата, нарушения экологического равновесия все более актуальной становится необходимость создания сортов картофеля, устойчивых к биотическим и абиотическим факторам среды, адаптированных к условиям возделывания, экологически пластичных генотипов [1, 2]. Сорта картофеля максимально реализуют свой генетический потенциал, как правило, в определенных экологических нишах, характеризующихся своеобразным сочетанием почвенно-климатических условий, что обуславливает необходимость зональной организации селекционных программ.

Возможность более полно реализовать генетический потенциал создают не только погодные условия, но и плодородность почвенного покрова сельхозугодий, обеспеченная органическими и минеральными удобрениями. Без сомнения, комплексное внесение органических и минеральных удобрений является залогом повышения плодородия почв, получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Однако длительное применение некоторых видов минеральных удобрений негативно воздействует на некоторые агрофизические свойства почв, что особенно важно для агроценозов северных территорий.

В последние годы все чаще стали обращать внимание на поиск новых технологий, повышающих урожайность сельскохозяйственных растений, более бюджетных и с минимальным отрицательным эффектом на качественные характеристики культуры.

Использование электромагнитного излучения (далее – ЭМИ) является перспективным направлением современных

Potato yield after electromagnetic treatment with weak non-ionizing impulsive fields

V.G. Zainullin¹, E.A. Shul'gina²

¹ A.V. Zhuravsky Institute of Agrobiotechnologies, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar

² AO "Concern GRANITE",
Moscow
zainullin.v.g@yandex.ru

Abstract

The electromagnetic treatment efficiency of potato varieties selected at the Institute of Agrobiotechnologies FRC Komi SC UB RAS has been evaluated. As estimated, the treatment significantly increased the yield of locally selected potato varieties during the vegetation period of 2021-2022.

Keywords:

potatoes, electromagnetic fields, productivity

технологий. Особый интерес с этой точки зрения представлял диапазон миллиметровых радиоволн (1...10 мм) [3–5]. Внимание привлекла необычная эффективность действия излучений миллиметрового диапазона (крайне высоких частот, далее – КВЧ) на живые организмы.

Действие КВЧ-излучения (электромагнитное излучение миллиметрового диапазона нетепловой интенсивности) интенсивно изучается в последние 25 лет на различных биологических объектах (от бактерий до тканей и органов человека) и модельных системах [4–7].

К настоящему времени имеется довольно большое число исследований о влиянии электромагнитного излучения миллиметрового диапазона низкой (нетепловой) интенсивности (КВЧ-излучения) на микроорганизмы, растительные организмы. Основным результатом воздействия является влияние на различные физиологические процессы и свойства у микроорганизмов: клеточное деление, морфологические свойства, скорость роста, выход биомассы и др. Ряд исследований по влиянию КВЧ-излучения на метаболизм фотосинтезирующих организмов выявил его стимулирующее действие на важные физиологические процессы [8–10].

Показано, что эффекты от воздействия ЭМИ КВЧ-диапазона на растения зависят от параметров ЭМИ, экспозиции и могут быть как стимулирующими, так и угнетающими [11–13]. Выявлено, что КВЧ-излучение оказывает существенное влияние на продолжительность жизни *D. melanogaster* и ширину листовой пластинки *T. aestivum* [14].

Необходимо отметить, что КВЧ-излучение относится к сверхслабым воздействиям, но тем не менее обладает большим потенциалом: хотя при облучении количество поглощаемой объектом энергии ничтожно мало, эффект воздействия на живые объекты оказывается весьма впечатляющим, например, стимуляция выхода биомассы у цианобактерий может достигать двух и более раз [9]. Влияние КВЧ-излучения на биологические объекты имеет, как правило, резонансный характер, т.е. частотную, временную и мощностную зависимость.

В нашей работе мы оценили эффективность технологии дистанционной электромагнитной обработки сортов картофеля слабыми неионизирующими импульсными полями.

Материалы и методы

В работе использованы пять сортов картофеля разных сроков созревания, из которых три сорта местной селекции (Зырянец, Печорский – среднеранние, Вычегодский – среднеспелый) и два сорта из реестра, рекомендованных для территорий Республики Коми (Аврора – среднеспелый, Гала – среднеранний сорта).

Оценка эффективности ЭМИ картофеля проводилась на поле Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Ранее данный участок под возделывание сельхозкультур не использовался. Учетная площадь под опытом – 800 м², схема посадки – 0,7 х 0,3 м, посадка (ручная) – в предварительно нарезанные гребни. Полевые наблюдения за сортами картофеля проведены по стандартной схеме [15, 16]. Агрохимические анализы почвы и химический состав клубней выполнены по общепринятым методикам в аналитических лабораториях Института и ФГБУ «Станция агрохимической службы "Сыктывкарская"».

Отобранные для эксперимента клубни картофеля были подвергнуты электромагнитному воздействию аппаратом TOP (АО «Концерн ГРАНИТ») в режиме 15/5 (15 мин воздействия, 5 мин перерыв в течение 1 ч) индивидуальным спектром воздействия – «предпосевное облучение». Во время всего вегетационного периода посеы обрабатывались аппаратом TOP в режиме 15/60 (15 мин воздействия, 60 мин перерыв) индивидуальным спектром воздействия «иммунизация» (АО «Концерн ГРАНИТ»). Аппарат TOP размещался на расстоянии 15 м от участка, на высоте 4 м. В эксперимент 2022 г. были взяты семена сортов картофеля урожая 2021 г. как с эксперимента 2021 г., так и с контрольного участка. В период хранения семена сорта Печорский обрабатывались TOP-ом (обработка картофеля во время хранения в овощехранилище проводилась в режиме 3 мин

в течение суток спектром «иммунизация»), физиологическим раствором, предварительно обработанным TOP-ом, и одновременно TOP-ом и физиологическим раствором.

Результаты и их обсуждение

Как видно из табл. 1, обработка ЭМИ привела к существенному увеличению площади листьев изучаемых образцов по всем исследуемым образцам ($p \leq 0,05$). Можно отметить крупные листья ботвы у всходов сортов местной селекции Печорский, Зырянец (на некоторых кустах ширина листовой пластинки достигала 12–14 см). Увеличение площади листовой пластинки при всех равных прочих условиях можно объяснить только изменением физиологических процессов, например, величиной митотического индекса клеток эпидермиса листа, гормональной активности.

Действительно, воздействие ЭМИ, их постоянное изменение интенсивности могут подвергать растения сложным ситуациям, которые либо положительно, либо отрицательно влияют на их развитие. Взаимодействие растений с электромагнитным излучением зависит от таких параметров, как частота и амплитуда ЭМИ [17, 18]. В некоторых исследованиях было показано, что применение ЭМИ перед прорастанием семян способствует последующему росту растений [19–21], в то время как другие подходы показывают ингибирование роста [22, 23]. Есть сведения о том, что метаболические изменения в ответ на ЭМИ происходят в семенах во время прорастания [24]. Растения реагируют на различные ЭМИ изменением и не только экспрессии своих генов, но и даже изменением своего фенотипа [25].

Образцы брались с 10 кустов каждого сорта от середины основного побега. Обрывались одиночные листья (ширина листа – более 1 см) и взвешивались. С листьев брались «высечки». Площадь высечки – 2,01 см² (20–30 листьев). $S = [P \text{ листьев} \times (2,01 \times \text{число высечек})] / P \text{ высечек}$. Измерение площади листа проводили с отклонением от стандартной методики, согласно которой необходим отбор листьев всего куста. Для выполнения данной методики надо выкапывать весь куст, оценивать корневую систему (наличие клубней, их инвентаризация) и далее по схеме [15]. В нашем варианте не рассчитывали поправку – густоту посева ($S/\text{га}$).

Ранее показано, что средняя урожайность сорта, по данным оригинаторов сортов Печорский – 42 т/га, Зырянец – 38, Вычегодский – 36, Аврора – 25, Гала – 22–26 т/га [2].

Как видно из табл. 2, урожайность сортов, обработанных TOP-ом, несколько ниже заявленных величин для сортов местной селекции.

Сопоставляя данные общей урожайности, следует отметить что для сортов, обработанных в 2021 и 2022 гг., величина урожая была выше, чем у сортов, не прошедших предпосевную обработку в 2022 г. ($19,5 \pm 0,48$ против $13,0 \pm 0,17$ т/га соответственно, $p \leq 0,05$). Средняя урожайность испытуемых сортов на контрольном

Таблица 1

Площадь листовой поверхности (см²) на куст картофеля сортов местной селекции в опыте и контроле

Table 1

Leaf surface area (cm²) per bush of locally selected potato varieties in experience and control

| Дата наблюдения | Печорский | | Вычегодский | | Зырянец | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Опыт | Контроль | Опыт | Контроль | Опыт | Контроль |
| 29.06.2021 | 934,7±98,1 | 748,3±101,8 | 990,6±69,1 | 648,6±54,9 | 1447,2±120,1 | 758,1±59,9 |
| 06.07.2021 | 5897,0±205,1 | 3632,4±102,4 | 9527,4±159,9 | 4938,4±201,0 | 6546,4±261,0 | 3249,5±105,9 |

Общая урожайность сортов картофеля в 2021 и 2022 гг., т/га
 Table 2
 Total yield of potato varieties in 2021 and 2022, t/ha

| 2021 г. | | | 2022 г. | |
|---------------|-------------|----------------|------------------|-------------|
| Сорт | Урожайность | С контролем, % | Сорт | Урожайность |
| Печорский (1) | 35,8 | 132 | 1 К (Печорский) | 16,3 |
| - | - | - | 1т | 27,4 |
| - | - | - | 1тф | 18,5 |
| - | - | - | 1ф | 19,9 |
| Вычегодский | 28,2 | 104 | 2 (Вычегодский) | 25,9 |
| Аврора | 24,9 | 92 | 3 (Аврора) | 13,3 |
| Зырянец | 33,3 | 123 | 4 (Зырянец) | 16,8 |
| Гала | 26,8 | 97 | 5 (Гала) | 17,5 |
| Среднее | 29, | 110 | Среднее ± ошибка | 19,5 ± 0,48 |
| Контроль | 27,0 | - | Вычегодский (2) | 15,4 |
| - | - | - | Аврора (3) | 12,4 |
| - | - | - | Зырянец (4) | 11,7 |
| - | - | - | Гала (5) | 12,8 |
| - | - | - | Среднее ± ошибка | 13,0 ± 0,17 |

Примечание. Сорта: 1. Печорский, 2. Вычегодский, 3. Аврора, 4. Зырянец, 5. Гала – предпосевная и вегетационная обработки 2021 г. Варианты сорта Печорский: 1Т-обработка ТОР-ом, 1Ф-физраствор, 1ТФ ТОР+физраствор (обработаны при хранении в хранилище); К – предпосевная и вегетационная обработки 2022 г., сорта: Вычегодский, Аврора, Зырянец, Гала – вегетационная обработка 2021 г., сорта Вычегодский (2), Аврора (3), Зырянец (4), Гала (5) – вегетационная обработка 2022 г.
 Note. Varieties: 1. Печорский, 2. Вычегодский, 3. Аврора, 4. Зырянец, 5. Гала – pre-sowing and vegetation treatments in 2021. Variants of the variety Печорский: 1Т-treatment with the TOR apparatus, 1Ф- with normal saline solution, 1тф – TOR + normal saline solution (treated for storage); К – pre-sowing and vegetation treatments in 2022; the varieties Вычегодский, Аврора, Зырянец, Гала – vegetation treatment in 2021, the varieties Вычегодский (2), Аврора (3), Зырянец (4), Гала (5) – vegetation treatment in 2022.

участке (участок возделывания сельхозпродукции) составляла 23,6±1,4 т/га. Уже отмечалось, что эксперимент мы проводили на участке, который ранее не использовался для выращивания сельхозкультур, т.е. на неподготовленном для выращивания картофеля. В 2021 и в 2022 гг. на данный участок ничего не было внесено, что и отразилось на агрохимическом составе почвы.

В 2021 г. агрохимические показатели почвы, по данным САС «Сыктывкарская», на экспериментальном участке (две точки отбора проб) составляли: органическое вещество 4,7–6,2 %; рНКСl – 5,6–5,75; гидролитическая кислотность – 2,5–2,9 ммоль/100 г; подвижные: фосфор – 1000–1500 мг/кг почвы; калий – 180–210, бор – 0,25–1,0 мг/кг почвы (протокол испытаний № 3 от 16.07.2021). В 2022 г. агрохимические показатели почвы: органическое вещество 3,8–4,4 %; рНКСl – 5,6–5,75; гидролитическая кислотность – 2,3–3,7 ммоль/100г; подвижные: фосфор – 940–1300 мг/кг почвы; калий – 98–111, бор – 0,33–1,0 мг/кг почвы (протокол испытаний № 13 от 01.11.2022). Таким образом, показатели плодородия почвы на экспериментальном участке в 2022 г. существенно отличались от данных 2021 г., что и могло сказаться на величинах общей урожайности.

Заключая рассмотрение результатов, следует отметить, что в условиях Республики Коми более чувствительными к электромагнитной обработке оказались сорта местной селекции, т.е. сорта, полученные в условиях Республики Коми.

Литература

- Симаков, Е.А. Приоритеты развития селекции и семеноводства картофеля / Е.А. Симаков, Б.В. Анисимов // Картофель и овощи. – 2006. – № 8. – С. 4–5.
- Зайнуллин, В.Г. Картофель. Факторы урожайности / В.Г. Зайнуллин, А.А. Юдин, С.А. Быков. – Сыктывкар, 2021. – 160 с.
- Нетепловые эффекты миллиметрового излучения / под ред. Н.Д. Девяткова. – Москва: ИЗЭ АН СССР, 1981. – 186 с.
- Девятков, Н.Д. Особенности взаимодействия миллиметрового излучения низкой интенсивности с биологическими объектами / Н.Д. Девятков, О.В. Бецкий // Сб. докл. Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. – Москва: ИРЭ АН СССР, 1985. – С. 6–20.
- Девятков, Н.Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Н.Д. Девятков, М.Б. Голант, О.В. Бецкий. – Москва: Радио и связь, 1991. – 168 с.
- Adey, W.R. Tissue interactions with nonionizing electromagnetic fields. *Physiol. Rev.* 1981, 61, 435–514.
- Saliev, T. Biological effects of non-ionizing electromagnetic fields: Two sides of a coin / T. Saliev, D. Begimbetova, A.R. Masoud, B. Matkarimov // *Progress in Biophysics and Molecular Biology.* – 2019, 141, 25–36.
- Ли, Ю.В. Применение сукцессионного анализа в комбинации с КВЧ-излучением для селективного выделения актиномицетов из почвы / Ю.В. Ли, Л.П. Терехова, И.В. Алферова, О.А. Галатенко, М.Г. Гапочка // *Микробиология.* – 2003. – Т. 72, № 1. – С. 131–135.
- Тамбиев, А.Х. Некоторые новые представления о причинах формирования стимулирующих эффектов КВЧ-излучения / А.Х. Тамбиев, Н.Н. Кирикова // *Биомедицинская радиоэлектроника.* – 2000. – № 1. – С. 23–33.
- Тамбиев, А.Х. Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы / А.Х. Тамбиев, Н.Н. Кирикова, О.В. Бецкий, Ю.В. Гуляев. – Москва: Изд. Радиотехника, 2003.
- Мазец, Ж.Э. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения на активность амилазы в проростках LUPINUS ANGUSTIFOLIUS L. / Ж.Э. Мазец, К.Я. Кайзинович, Н.В. Пушкина, В.Н. Родионова, Е.В. Спиридович // *Труды БГУ* 2013. – Т. 8, Ч. 2. – С. 95–101.
- К вопросу о механизмах взаимодействия низкоинтенсивного электромагнитного излучения с растительными объектами // Ж.Э. Мазец, К.Я. Кайзинович, А.Г. Шутова // *Вестці БДПУ Серія 3. Фізика, матэматыка, інфарматыка, біялогія, геаграфія.* – 2014. – № 1. – С. 26–31.
- Калье, М.И. Влияние КВЧ-излучения миллиметрового диапазона на физиологические процессы прорастания семян пивоваренного ячменя / М.И. Калье // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского.* – 2010. – № 2 (2). – С. 399–401.

14. Эколого-биологические особенности динамики признаков *drosophila melanogaster* и *triticum aestivum* в зависимости от дозы КВЧ-излучения / В.В. Бабкина, Е.А. Алленова, И.В. Матюхин, Г.В. Чернова, О.П. Эндебера // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2013. – № 4 (1). – С. 162–168.
15. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
16. Андрюхина, Н.А. Методика исследований по культуре картофеля / Н.А. Андрюхина, Н.С. Бацанов, Л.В. Будина. – Москва: НИИКХ, 1967. – 262 с.
17. Vian, A. Plant responses to high frequency electromagnetic fields / A. Vian, E. Davies, M. Gendraud, P. Bonnet // Biomed Res. Int. 2016, 2016, 1830262.
18. Vian, A. Plants respond to GSM-like radiation / A. Vian, C. Faure, S. Girard, E. Davies, F. Hallé [et al.] // Plant Signal. Behav. 2007, 2, 522–524.
19. Efthimiadou, A. Effects of pre-sowing pulsed electromagnetic treatment of tomato seed on growth, yield, and lycopene content / A. Efthimiadou, N. Katsenios, A. Karkanis, P. Papastilianou, V. Triantafyllidis [et al.] // Sci. World J. 2014, 2014, 369745.
20. Mahajan, T.S. Magnetic-time model at off-season germination / T.S. Mahajan, O.P. Pandey // Int. Agrophys. 2014, 28, 57–62.
21. Menegatti, R.D. Magnetic field and gibberelic acid as pre-germination treatments of passion fruit seeds / R.D. Menegatti, L.O. de Oliveira, Á. Da Costa, E. Braga, V.J. Bianchi // Rev. Cien. Agr. 2019, 17, 15–22.
22. Da Silva, J.A.T. Magnetic fields: How is plant growth and development impacted? / J.A.T. Da Silva, J. Dobránszki // Protoplasma 2016, 253, 231–248.
23. Belyavskaya, N.A. Biological effects due to weak magnetic field on plants / N.A. Belyavskaya // Adv. Space Res. 2004, 34, 1566–1574.
24. Shine, M.B. Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field / M.B. Shine, K.N. Guruprasad, A. Anand // Bioelectromagnetics 2011, 32, 474–484.
25. Anand, A. Hydrogen peroxide signaling integrates with phytohormones during the germination of magnetoprimed tomato seeds / A. Anand, A. Kumari, M. Thakur, A. Koul // Sci. Rep. 2019, 9, 8814.
4. Devyatkov, N.D. Osobennosti vzaimodeystviya millimetrovogo izlucheniya nizkoy intensivnosti s biologicheskimi obyektami [Peculiarities of the interaction of low-intensity millimeter radiation with biological objects] / N.D. Devyatkov, O.V. Betskiy // Sb. dokl.: Primeneniye millimetrovogo izlucheniya nizkoy intensivnosti v biologii i meditsine [Collection of proceedings: Application of Low-Intensity Millimeter Radiation in Biology and Medicine]. – Moscow: IRE AN SSSR, 1985. – P. 6–20.
5. Devyatkov, N.D. Millimetrovyye volny ya ikh rol' v protsessakh zhiznedeyatel'nosti [Millimeter waves and their role in life processes] / N.D. Devyatkov, M.B. Golant, O.V. Betskiy // – Moscow: Radio i svyaz', 1991. – 168 p.
6. Adey, W.R. Tissue interactions with nonionizing electromagnetic fields. Physiol. Rev. 1981, 61, 435–514.
7. Saliev, T. Biological effects of non-ionizing electromagnetic fields: Two sides of a coin / T. Saliev, D. Begimbetova, A.R. Masoud, B. Matkarimov // Progress in Biophysics and Molecular Biology. – 2019, 141, 25–36.
8. Li, Yu.V. Primeneniye suksessionnogo analiza v kombinatsii s KVCh-izlucheniym dlya selektivnogo vydeleniya aktinomitetov iz pochvy [Application of the succession analysis in combination with EHF- radiation for selective isolation of actinomycetes from soil] / Yu.V. Li, L.P. Terekhova, I.V. Alferova, O.A. Galatenko, M.G. Gapochka // Mikrobiologiya [Microbiology]. – 2003. – Vol. 72. – № 1. – P. 131–135.
9. Tambiyev, A.Kh. Nekotoryye novyye predstavleniya o prichinakh formirovaniya stimuliruyushchikh effektov KVCh-izlucheniya [Some new ideas about reasons for the formation of EHF-radiation stimulating effects] / A.Kh. Tambiyev, N.N. Kirikova // Biomeditsinskaya radioelektronika [Biomedical Radioelectronics]. – 2000. – № 1. – P. 23–33.
10. Tambiyev, A.Kh. Millimetrovyye volny i fotosinteziruyushchiye organizmy [Millimeter waves and photosynthetic organisms] / A.Kh. Tambiyev, N.N. Kirikova, O.V. Betskiy, Yu.V. Gulyayev // Moscow: Radiotekhnika, 2003. – 175 p.
11. Mazets, Zh.E. Vliyaniye nizkointensivnogo elektromagnitnogo izlucheniya na aktivnost' amilazy v prorstkakh LUPINUS ANGUSTIFOLIUS L. [The influence of low-intensity electromagnetic radiation on the activity of amylase in Lupinus angustifolius L. seedlings] / Zh.E. Mazets, K.Ya. Kayzinovich, N.V. Pushkina, V.N. Rodionova, Ye.V. Spiridovich // Proceedings of the BSU. – 2013. – Vol. 8. – Part 2. – P. 95–101.
12. K voprosu o mekhanizmax vzaimodeystviya nizkointensivnogo elektromagnitnogo izlucheniya s rastitel'nymi obyektami [On the question about the interaction mechanisms of low-intensity electromagnetic radiation with vegetation objects] // Zh.E. Mazets, K.Ya. Kayzinovich, A.G. Shutova // Весті БДПУ Серія 3. Фізика, математика, інфарматыка, біялогія, географія [Proceedings of the Berdyansk State Pedagogical University. Series 3. Physics, mathematics, informatics, biology, geography]. – 2014. – № 1. – P. 26–31.
13. Kal'ye, M.I. Vliyaniye KVCh- izlucheniya millimetrovogo diapazona na fiziologicheskiye protsessy prorstaniya

References

1. Simakov, Ye.A. Prioritety razvitiya selektsii i semenovodstva kartofelya [Development priorities of potato selection and seed production] / Ye.A. Simakov, B.V. Anisimov // Kartoffel' i ovoshchi [Potato and Vegetables]. – 2006. – № 8. – P. 4–5.
2. Zaynullin, V.G. Kartoffel'. Faktory urozhaynosti [Potato. Yield factors] / Zaynullin, V.G., A.A. Yudin, S.A. Bykov. – Syktyvkar, 2021. – 160 p.
3. Neteplovyye efekty millimetrovogo izlucheniya [Non-thermal effects of millimeter wave Radiation] / Ed. N.D. Devyatkov. – Moscow: IZE AN SSSR. – 1981. – 186 p.

- semyan pivovarennogo yachmenya [Influence of millimeter-range EHF-radiation on the physiological processes of germination of malting barley seed // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo [Tributary of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky]. – 2010. – № 2 (2). P. 399–401.
14. Ekologo-biologicheskiye osobennosti dinamiki priznakov *Drosophila melanogaster* i *Triticum aestivum* v zavisimosti ot dozy KVCh-izlucheniya [Ecological and biological characteristics of the dynamics of signs of *Drosophila melanogaster* and *Triticum aestivum* in dependence of the dose of EHF-radiation] / V.V. Babkina, Ye.A. Allenova, I.V. Matyukhin, G.V. Chernova, O.P. Endebera // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo [Tributary of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky]. – 2013. – № 4 (1). – P. 162–168.
 15. Dospikhov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Field experience methodology (with the statistical processing bases of research results)] / B.A. Dospikhov. – Moscow: Agropromizdat, 1985. – 351 p.
 16. Andryukhina, N.A. Metodika issledovaniy po kul'ture kartofelya [Research methodology on the potato culture] / N.A. Andryukhina, N.S. Batsanov, L.V. Budina. – Moscow: NIISKKh, 1967. – 262 p.
 17. Vian, A. Plant responses to high frequency electromagnetic fields / A. Vian, E. Davies, M. Gendraud, P. Bonnet // Biomed Res. Int. 2016, 2016, 1830262.
 18. Vian, A. Plants respond to GSM-like radiation / A. Vian, C. Faure, S. Girard, E. Davies, F. Hallé [et al.] // Plant Signal. Behav. 2007, 2, 522–524.
 19. Efthimiadou, A. Effects of pre-sowing pulsed electromagnetic treatment of tomato seed on growth, yield, and lycopene content / A. Efthimiadou, N. Katsenios, A. Karkanis, P. Papastylianou, V. Triantafyllidis [et al.] // Sci. World J. 2014, 2014, 369745.
 20. Mahajan, T.S. Magnetic-time model at off-season germination / T.S. Mahajan, O.P. Pandey // Int. Agrophys. 2014, 28, 57–62.
 21. Menegatti, R.D. Magnetic field and gibberelic acid as pre-germination treatments of passion fruit seeds / R.D. Menegatti, L.O. de Oliveira, Á. Da Costa, E. Braga, V.J. Bianchi // Rev. Cien. Agr. 2019, 17, 15–22.
 22. Da Silva, J.A.T. Magnetic fields: How is plant growth and development impacted? / J.A.T. Da Silva, J. Dobránszki // Protoplasma 2016, 253, 231–248.
 23. Belyavskaya, N.A. Biological effects due to weak magnetic field on plants / N.A. Belyavskaya // Adv. Space Res. 2004, 34, 1566–1574.
 24. Shine, M.B. Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field / M.B. Shine, K.N. Guruprasad, A. Anand // Bioelectromagnetics 2011, 32, 474–484.
 25. Anand, A. Hydrogen peroxide signaling integrates with phytohormones during the germination of magnetoprimed tomato seeds / A. Anand, A. Kumari, M. Thakur, A. Koul // Sci. Rep. 2019, 9, 8814.

Благодарность (госзадание)

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Определение адаптивного потенциала оригинальных сортов и гибридов растений, устойчивости и повышения плодородия почв в системе сельскохозяйственного воспроизводства в условиях Севера» регистрационный номер НИОКТР 1021051101608-8-4.4.1; государственное задание FUUU-2022-0052.

Информация об авторах:

Зайнуллин Владимир Габдуллович – ведущий научный сотрудник Института агробιοтехнологий им. А.В. Журавского ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Институт агробιοтехнологий Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»; 167023, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Ручейная, д. 27; e-mail: zainullin.v.g@yandex.ru).

Шульгина Екатерина Алексеевна – руководитель отдела волнового оборудования, АО «Концерн ГРАНИТ» (119019, Российская Федерация, г. Москва, Гоголевский б-р, д. 31, стр. 2, эт. 2, помещение 1; e-mail: shulgina.e@granit-concern.ru).

About the authors:

Vladimir G. Zainullin – Leading Researcher at the A.V. Zhuravsky Institute of Agrobiotechnologies FRC Komi SC UB RAS (A.V. Zhuravsky Institute of Agrobiotechnologies, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 27 Rucheynaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: zainullin.v.g@yandex.ru).

Ekaterina A. Shul'gina – Head of the Wave Equipment Department, AO "Concern GRANITE" (Room 1, Floor 2, Building 2, 31 Gogolevsky b-r, 119019, Moscow, Russian Federation; e-mail: shulgina.e@granit-concern.ru).

Для цитирования:

Зайнуллин, В.Г. Урожайность картофеля после электромагнитной обработки слабыми неионизирующими импульсными полями / В.Г. Зайнуллин, Е.А. Шульгина // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Сельскохозяйственные науки». – 2022. – № 6 (58). – С. 95–100. УДК 633.491:631.527:57.04:53.047. DOI 10.19110/1994-5655-2022-6-95-100

For citation:

Zainullin, V.G. Urozhajnost' kartofelya posle elektromagnitnoj obrabotki slabymi neioniziruyushchimi impul'snymi polyami [Potato yield after electromagnetic treatment with weak non-ionizing impulsive fields] / V.G. Zainullin, E.A. Shul'gina // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Agricultural Sciences". – 2022. – № 6 (58). – P. 95–100. UDC 633.491:631.527: 57.04:53.047. DOI 10.19110/1994-5655-2022-6-95-100

Дата поступления рукописи: 05.10.2022

Прошла рецензирование: 14.10.2022

Принято решение о публикации: 02.11.2022

Received: 05.10.2022

Reviewed: 14.10.2022

Accepted: 02.11.2022