

ISSN 1029-8940 (Print)
ISSN 2524-230X (Online)
УДК 581.14581.1.03
<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-2-191-198>

Поступила в редакцию 26.12.2019
Received 26.12.2019

Е. Л. Недведь¹, Ж. Н. Калацкая¹, Н. А. Ламан¹, В. В. Минкова¹, К. М. Герасимович¹,
И. А. Овчинников¹, Н. А. Копылова¹, И. И. Филатова², В. А. Люшкевич²

¹Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

СТИМУЛИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЕННОЙ И РАДИОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ

Аннотация. Установлено, что обработка семян клевера лугового высокочастотным (ВЧ) электромагнитным полем и ВЧ плазмой, возбуждаемой на частоте 5,28 МГц при давлении 200 Па, оказывает стимулирующее действие как на прорастание семян, так и на рост и развитие растений, выращенных в лабораторных и полевых условиях. При плазменной обработке длительностью 5 мин наблюдается наибольший эффект – повышение энергии прорастания и всхожести семян, значительное возрастание биомассы побегов и корней. В то же время содержание фенольных соединений и флавоноидов в листьях растений снижается.

Ключевые слова: высокочастотное электромагнитное поле, холодная плазма, прорастание семян, клевер луговой, рост и развитие растений, фенольные соединения, флавоноиды

Для цитирования: Стимулирующее действие плазменной и радиоволновой обработки семян клевера лугового на морфофизиологические параметры проростков / Е. Л. Недведь [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2020. – Т. 65, № 2. – С. 191–198. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-2-191-198>

Helen L. Nedved¹, Joanna N. Kalatskaja¹, Nikolai A. Laman¹, Victioria V. Minkova¹, Kanstantsin M. Herasimovich¹,
Igor A. Ovchinnikov¹, Natalia A. Kopylova¹, Irina I. Filatova², Veronika A. Lyushkevich²

¹V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

²B. I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

STIMULATING EFFECTS OF PLASMA AND RADIO-WAVE TREATMENTS OF RED CLOVER SEEDS ON MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF SEEDLINGS

Abstract. It was established that the treatment of clover seeds with radio frequency (RF) electromagnetic field and low pressure (200 Pa) RF plasma excited at a frequency of 5.28 MHz has a stimulating effect both on the germination of seeds and on the growth and development of plants grown in laboratory and field conditions. Plasma treatment for 5 min led to the greatest stimulation of seed germination and germination energy, a significant increase in the biomass of shoots and roots. At the same time, the content of phenolic compounds and flavonoids in plant leaves decreased.

Keywords: high-frequency electromagnetic fields, cold plasma, germination of seeds, red clover, total phenolics, flavonoids

For citation: Nedved H. L., Kalatskaja J. N., Laman N. A., Minkova V. V., Herasimovich K. M., Ovchinnikov I. A., Kopylova N. A., Filatova I. I., Lyushkevich V. A. Stimulating effects of plasma and radio-wave treatments of red clover seeds on morphological and physiological parameters of seedlings. *Vestsi Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2020, vol. 65, no. 2, pp. 191–198 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-2-191-198>

Введение. В последние годы для обработки различных биологических объектов, в том числе семенного растительного материала, все большее распространение получают технологии на основе плазменных, плазменно-пучковых, микро- и радиоволновых методов воздействия. Многочисленные исследования свидетельствуют об активной ответной реакции растений (как на молекулярном и клеточном уровне, так и на уровне организма) на обработку семян холодной плазмой и электромагнитными полями [1–5], что проявляется, в частности, в изменении состава и содержания вторичных метаболитов [6], в том числе фенольных соединений [7]. Таким образом, воздействие физических факторов на семена может рассматриваться как перспективный метод модуляции накопления растениями вторичных метаболитов для получения биологически активных веществ растительного происхождения.

Цель данной работы – исследование особенностей прорастания семян, ростовых процессов и определение содержания вторичных метаболитов в растениях клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) в лабораторных и полевых условиях в ответ на предпосевную плазменно-радиоволновую обработку. Клевер луговой, многолетнее травянистое растение семейства бобовых, является естественным источником изофлавоноидов – фитоэстрагенов биоханина А и формононетина, что обеспечивает его широкое применение в медицине. Кроме того, клевер луговой используется в растениеводстве как кормовая культура и способствует обогащению почвы азотом.

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследований были выбраны растения клевера лугового сорта Лев (семена урожая 2016 г.), семена которых подвергали обработке высокочастотным (ВЧ) электромагнитным полем (ЭМП) и плазмой ВЧ разряда. Обработку осуществляли на экспериментальной установке Института физики НАН Беларуси, позволяющей возбуждать как ВЧ ЭМП на частоте 5,28 МГц, так и плазмой ВЧ разряда на той же частоте. Подробное описание установки приведено в [8]. Режимы обработки семян были выбраны экспериментально, а также исходя из данных, полученных авторами ранее при исследовании плазменно-радиоволнового воздействия на семена ряда других многолетних и однолетних культур [4–6, 8]. Плазменную обработку осуществляли в воздухе при давлении 200 Па и вкладываемой в разряд удельной мощности порядка 0,025 Вт/см³. Обработку ЭМП проводили при атмосферном давлении путем помещения кассеты с образцами семян в центральную зону индуктора. Значения интенсивности, а также напряженности электрической и магнитной составляющих ЭМП в зоне воздействия соответствовали данным, приведенным в работе [6]. Время воздействия плазмы и ЭМП составляло 5 и 10 мин соответственно.

Закладку семян на прорастание осуществляли через 10 дней после их обработки. В качестве контроля использовали необработанные семена клевера. В лабораторных условиях растения выращивали при освещенности 4 тыс. лк (режим освещения – 14 ч света, 10 ч темноты) до стадии появления настоящего тройчатого листа. В полевых условиях закладывали мелкоделяночный опыт на экспериментальной площадке Центрального ботанического сада НАН Беларуси. Морфологические и биохимические показатели растений оценивали в фазу формирования 1–2 тройчатых листьев.

Энергию прорастания и всхожесть семян клевера в лабораторных условиях определяли согласно ГОСТу [9], удельную электропроводность водных вытяжек из семян – кондуктометрическим способом [10, 11]. Для биохимических анализов использовали 70 %-ные спиртовые экстракты из листьев клевера. Суммарное содержание фенолов определяли спектрофотометрически по методу Фолина–Чокалтеу [12]. Для измерения общего содержания флавоноидов использовали спектрофотометрический метод с применением хлорида алюминия [13]. Стандартом для определения общего содержания фенолов и флавоноидов служил рутин (мг эквивалента рутина/г сырой массы). Содержание фотосинтетических пигментов измеряли с использованием метода, изложенного в [14].

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью общепринятых методик [15]. На диаграммах приведены средние значения показателей с указанием стандартной ошибки средней арифметической. В статье приведены значения, достоверные при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Прорастание семян клевера оценивали по показателям энергии прорастания, всхожести и удельной электропроводности водных вытяжек из семян. Показано, что плазменно-радиоволновая обработка семян оказывает стимулирующее действие на начальных этапах роста: энергия прорастания возрастала на 15 % по сравнению с контролем в случае обработки ЭМП и на 35 % при обработке плазмой. Всхожесть контрольных семян клевера составила $81 \pm 1,72$ %, при обработке ЭМП и плазмой – $86 \pm 0,83$ и $82 \pm 1,75$ % соответственно (рис. 1).

Обработка способствовала также возрастанию (в среднем на 30 %) удельной электропроводности водных вытяжек из семян клевера (рис. 2).

Удельная электропроводность водных вытяжек из семян характеризует целостность семенных оболочек и плазматических мембран клеток, а ее возрастание для большинства семян свидетельствует о снижении их качества. Известно, что посевной материал многолетних бобовых трав содержит много твердокаменных семян, отличающихся особым строением семенной обо-

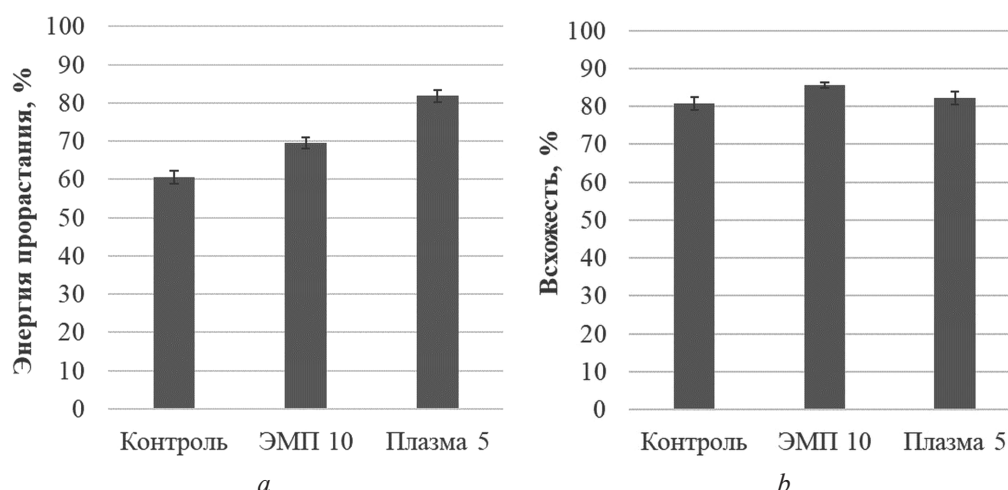


Рис. 1. Влияние плазменной и радиоволновой обработки на энергию прорастания (а) и всхожесть (b) семян клевера

Fig. 1. The effect of plasma and radio wave treatments of clover seeds on the seed vigour (a) and germination (b)

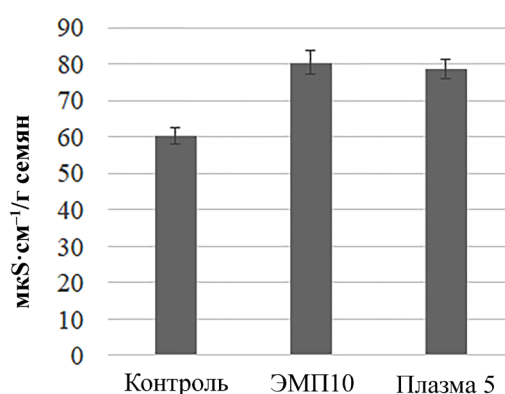


Рис. 2. Удельная электропроводность водных вытяжек из семян клевера, подвергшихся плазменной и радиоволновой обработке

Fig. 2. Effect of plasma and radio-wave treatments on electrical conductivity of clover seeds leachate

лочки, задерживающей доступ воды и воздуха к зародышу [16]. Одной из причин ускорения прорастания твердокаменных семян клевера, подвергшихся плазменной обработке, может быть нарушение герметичности семенной оболочки. Кроме того, как показано в [17], воздействие плазмы и ЭМП также способствует изменению баланса фитогормонов, контролирующих процесс прорастания и рост проростков на начальном этапе.

Обработка семян способствовала увеличению длины побега у растений на 13 % (при обработке ЭМП) и на 22 % (при обработке плазмой) по сравнению с контролем (рис. 3, а), масса побега увеличивалась на 34 и 51 % соответственно (рис. 3, б).

В полевых условиях биометрические показатели растений клевера, выращенного из обработанных семян, также существенно изменялись по сравнению с контрольными растениями. Длина корней увеличивалась на 27 %, а побега – на 57 % при обработке семян плазмой, при обработке ЭМП длина побега возрастала на 11 % по сравнению с контролем (рис. 4, а). Значительно увеличивалась и масса корней – в 1,5 раза по сравнению с необработанными растениями в варианте ЭМП и в 2,5 раза в варианте с плазмой (рис. 4, б). Масса побега возрастала в 1,5 раза при обработке семян ЭМП и в 2,5 раза при обработке семян плазмой (рис. 4, б).

Содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a + b* и каротиноидов) в листьях клевера, выращенного в лабораторных и полевых условиях после обработки семян ЭМП и плазмой, находилось в пределах значений, характерных для контрольных растений (рис. 5).

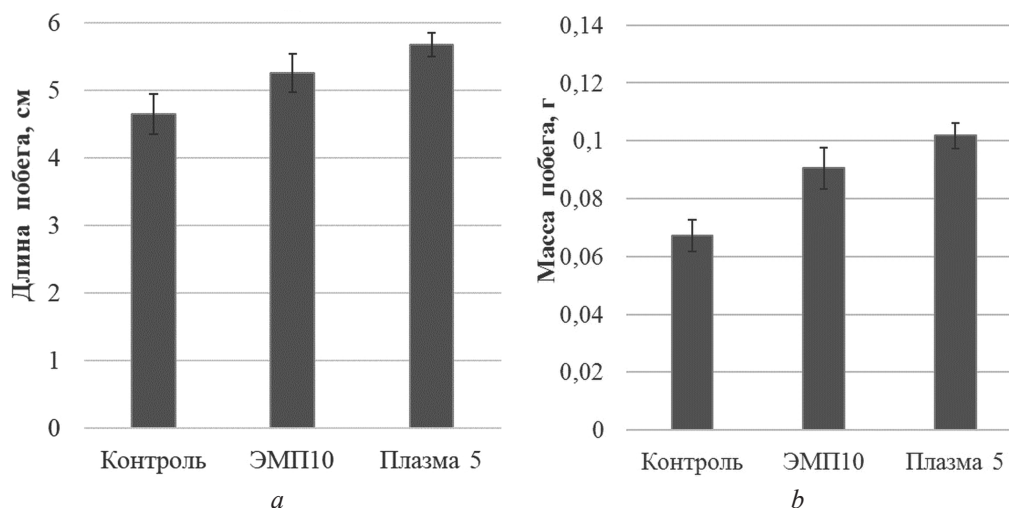


Рис. 3. Влияние плазменной и радиоволновой обработки семян на длину (а) и массу (b) проростков клевера, выращенных в лабораторных условиях

Fig. 3. The effect of plasma and radio wave seed treatments on the biometric parameters (a – shoot length, b – shoot mass) of clover plants in laboratory conditions

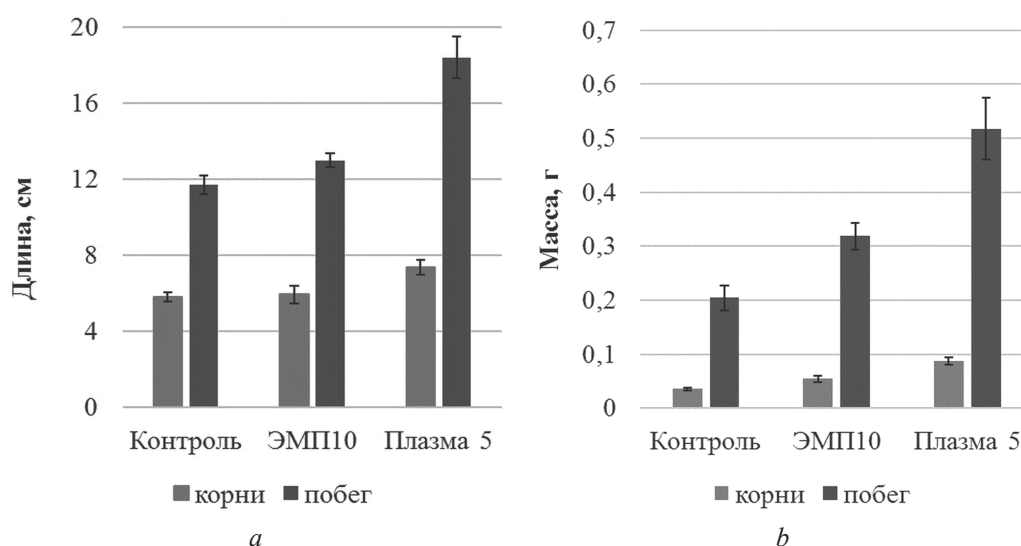


Рис. 4. Влияние плазменной и радиоволновой обработки семян на биометрические показатели растений клевера, выращенного в полевых условиях

Fig. 4. The effect of plasma and radio wave seed treatments on the biometric parameters of clover plants in the field conditions

В листьях растений из семян, обработанных плазмой и выращенных в лабораторных условиях, суммарное содержание фенольных соединений не изменялось, но наблюдалась тенденция к снижению общего содержания флавоноидов на 13 % по сравнению с аналогичным показателем у контрольных растений. Содержание фенольных соединений в листьях растений при обработке семян ЭМП увеличивалось на 11 % относительно контроля, однако не было достоверных различий по содержанию флавоноидов (рис. 6, а).

В листьях растений, выращенных в полевых условиях из обработанных плазмой семян, также отмечалось снижение уровня флавоноидов и фенольных соединений – на 31 и 27 % соответственно. Достоверных различий по указанным выше показателям в растениях после воздействия ЭМП и в контроле не наблюдалось (рис. 6, б).

Таким образом, установлено, что плазменно-радиоволновая обработка семян приводит к существенному увеличению активности ростовых процессов клевера лугового на стадии формирования

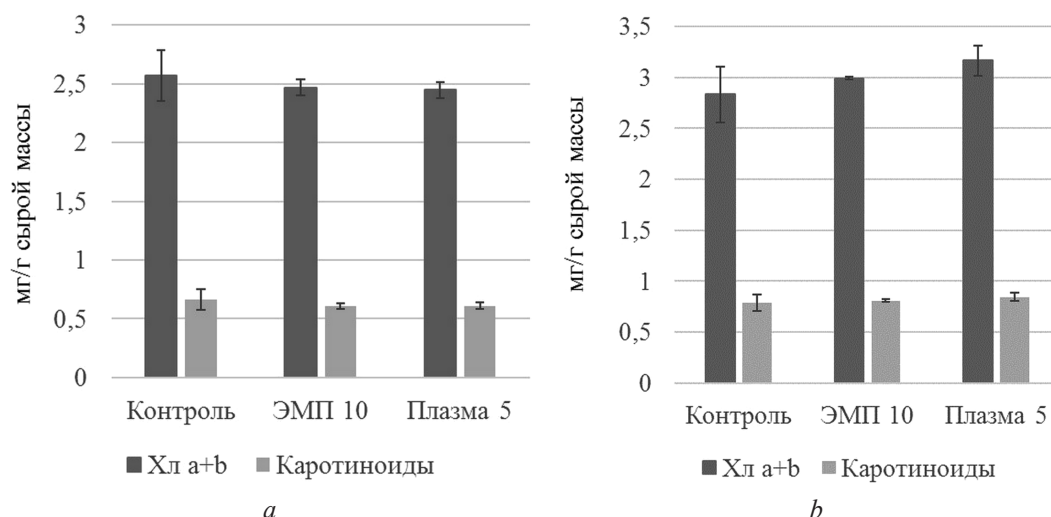


Рис. 5. Влияние плазменной и радиоволновой обработок семян на содержание фотосинтетических пигментов в листьях клевера, выращенного в лабораторных (а) и полевых (б) условиях

Fig. 5. Effect of plasma and radio wave seed treatments on the content of photosynthetic pigments in clover in laboratory (a) and field (b) conditions

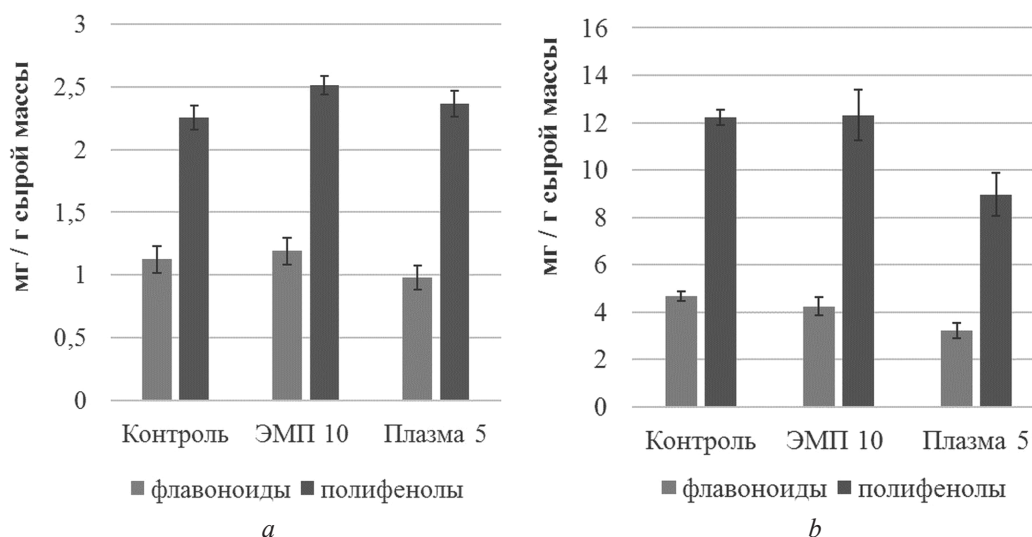


Рис. 6. Влияние плазменной и радиоволновой обработки семян на общее содержание флавоноидов и фенольных соединений в листьях клевера, выращенного в лабораторных (а) и полевых (б) условиях

Fig. 6. The effect of plasma and radio wave seed treatments on the total content of flavonoids and phenolics in clover leaves in laboratory (a) and field (b) conditions

1–2 тройчатых листьев как в лабораторных, так и в полевых условиях. В то же время уровень накопления общей суммы фенольных соединений и флавоноидов в листьях клевера значительно ниже в обработанных растениях, чем в контроле, особенно при обработке семян плазмой.

В основном биосинтез фенольных соединений (особенно флавоноидов) в растениях проходит по шикиматному пути, с образованием L-фенилаланина и L-тирозина. Данные аминокислоты участвуют не только в производстве вторичных метаболитов, но и в основном метаболизме для синтеза других аминокислот и белков. Таким образом, первичный и вторичный метаболизм могут конкурировать за доступные углеродсодержащие ассимилянты [18]. Вероятно, при отсутствии лимитирующих стрессовых факторов распределение ассимилятов идет на поддержку активного роста и развития растений. В работах [19–21] установлено, что на стадии активного роста и в условиях высокой доступности питательных веществ большое количество углеводов расходуется на первичный метаболизм (синтез белка), в то время как вторичный метаболизм ограничен.

Например, показано, что при высоком содержании азота накопление флавоноидов в растениях снижается.

В работе [22] проведен мультивариантный анализ 22 популяций клевера белого, позволяющий установить связь между накоплением флавоноидов и продуктивностью биомассы. Выявлено, что в популяциях клевера с высокой продуктивностью биомассы, крупными листьями и толстыми стержневыми корнями уровень накопления флавоноидов – гликозидов кверцетина и соотношение кверцетин:кемпферол низкие, в то время как в менее продуктивных популяциях наблюдается обратное явление.

Заключение. Проведенные исследования показали, что плазменно-радиоволновая обработка семян клевера лугового оказывает стимулирующее действие на начальные этапы роста растений в лабораторных и полевых условиях, что выражается в увеличении длины и массы побега и корней. Наибольший эффект наблюдался у растений, семена которых подвергали обработке плазмой ВЧ разряда, в течение 5 мин. Снижение уровня флавоноидов в листьях на фоне активного роста растений клевера свидетельствует, вероятно, о доминирующем перераспределении углеводов на синтез веществ первичного метаболизма. Планируется проведение дальнейших исследований по изучению содержания вторичных метаболитов в корнях растений клевера лугового, а также на других стадиях развития в разные годы выращивания.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, грант № Ф19ЛИТГ-008.

Acknowledgements. This work was supported by the State Committee on Science and Technology of the Republic of Belarus under grant no. Ф19ЛИТГ-008.

Список использованных источников

1. Pietruszewski, S. Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: a review / S. Pietruszewski, E. Martínez // *Int. Agrophys.* – 2015. – Vol. 29, N 3. – P. 377–389. <https://doi.org/10.1515/intag-2015-0044>
2. Plant responses to high frequency electromagnetic field / A. Vian [et al.] // *BioMed Res. Int.* – 2016. – Vol. 2016. – Art. ID 1830262. <https://doi.org/10.1155/2016/1830262>
3. Maffei, M. E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution / M. E. Maffei // *Front Plant Sci.* – 2014. – Vol. 5. – Art. 445. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00445>
4. Response of perennial woody plants to seed treatment by electromagnetic field and low-temperature plasma / V. Mildaziene [et al.] // *Bioelectromagnetics.* – 2016. – Vol. 37, N 8. – P. 536–548. <https://doi.org/10.1002/bem.22003>
5. Влияние плазменно-радиоволновой обработки семян кукурузы и последующего их хранения в неблагоприятных условиях на физиолого-биохимические особенности проростков / Ж. Н. Калацкая [и др.] // *Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. бйял. навук.* – 2018. – Т. 63, № 1. – С. 7–19.
6. Pre-sowing treatment with cold plasma and electromagnetic field increases secondary metabolite content in purple coneflower (*Echinacea purpurea*) leaves / V. Mildaziene [et al.] // *Plasma Process. Polym.* – 2017. – Vol. 15, N 2. – P. 1700059. <https://doi.org/10.1002/ppap.201700059>
7. Effect of UV-C radiation, ultra-sonication electromagnetic field and microwaves on changes in polyphenolic compounds in chokeberry (*Aronia melanospora*) / T. Cebulak [et al.] // *Molecules.* – 2017. – Vol. 22, N 7. – P. 1161. <https://doi.org/10.3390/molecules22071161>
8. Влияние режимов воздействия плазмы высокочастотного емкостного разряда на стимуляцию всхожести и фитосанитарное состояние семян / И. И. Филатова [и др.] // *Журн. прикл. спектроскопии.* – 2014. – Т. 81, № 2. – С. 256–262.
9. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038-84, введ. 01.07.86 до 01.07.91. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 55 с.
10. Алексейчук, Г. Н. Физиологическое качество семян сельскохозяйственных культур и методы его оценки / Г. Н. Алексейчук, Н. А. Ламан. – Минск : Право и экономика, 2005. – 48 с.
11. Ladonne, F. Relationship between standard germination test, conductivity test and field emergence of pea seeds / F. Ladonne // *Acta Horticulturae.* – 1989. – Vol. 253. – P. 153–162. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1989.253.16>
12. Buckwheat – the source of antioxidant activity in functional foods / M. Holasova [et al.] // *Food Res. Int.* – 2002. – Vol. 35, N 2–3. – P. 207–211. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00185-5](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00185-5)
13. Мальцева, Е. М. Количественное определение суммарного содержания флавоноидов в траве кровохлебки лекарственной / Е. М. Мальцева, Н. О. Егорова, И. Н. Егорова // *Вестн. Урал. мед. акад. науки.* – 2011. – № 3–1. – С. 68–69.
14. Шлык, А. А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А. А. Шлык // *Биохимические методы в физиологии растений / отв. ред. О. А. Павлинова.* – М., 1971. – С. 154–170.
15. Grantz, S. A. *Primer of Biostatistics* / S. A. Grantz. – 7th ed. – New York : McGraw-Hill, 2011. – 320 p.
16. Новоселова, А. С. Селекция и семеноводство клевера / А. С. Новоселова. – М. : Агропромиздат, 1986. – 200 с.

17. 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 / V. Mildažienė [et al.] // *Sci. Reports.* – 2019. – Vol. 9, N 1. – Art. 6437. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42893-5>
18. Stamp, N. Can the growth-differentiation balance hypothesis be tested rigorously? / N. Stamp // *Oikos.* – 2004. – Vol. 107, N 2. – P. 439–448. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.12039.x>
19. Nitrogen availability alters flavonoid accumulation in *Cyclocarya paliurus* via the effects on the internal carbon/nitrogen balance / B. Deng [et al.]. // *Sci. Reports.* – 2019. – Vol. 9, N 1. – Art. 2370. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38837-8>
20. Nitrogen, phosphorus, and potassium effects on biomass yield and flavonoid content of American skullcap (*Scutellaria lateriflora*) / S. Shiwakoti [et al.] // *J. Plant Nutr.* – 2016. – Vol. 39, N 9. – P. 1240–1249. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1050509>
21. Genotype×environment analysis of flavonoid accumulation and morphology in white clover under contrasting field conditions / W. L. Ballizany [et al.] // *Field Crop Res.* – 2012. – Vol. 128. – P. 156–166. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.006>
22. Hofmann, R. W. Tradeoff between biomass and flavonoid accumulation in white clover reflects contrasting plant strategies / R. W. Hofmann, M. Z. Z. Jahufer // *PLoS ONE.* – 2011. – Vol. 6, N 4. – P. e18949. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018949>

References

1. Pietruszewski S., Martínez E. Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: a review. *International Agrophysics*, 2015, vol. 29, no. 3, pp. 377–389. <https://doi.org/10.1515/intag-2015-0044>
2. Vian A., Davies E., Gendraud M., Bonnet P. Plant responses to high frequency electromagnetic field. *BioMed Research International*, 2016, vol. 2016, art. ID 1830262. <https://doi.org/10.1155/2016/1830262>
3. Maffei M. E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science*, 2014, vol. 5, art. 445. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00445>
4. Mildaziene V., Pauzaite G., Malakauskiene A., Zukiene R., Nauciene Z., Filatova I., Azharonok V., Lyushkevich V. Response of perennial woody plants to seed treatment by electromagnetic field and low-temperature plasma. *Bioelectromagnetics*, 2016, vol. 37, no. 8, pp. 536–548. <https://doi.org/10.1002/bem.22003>
5. Kalatskaja J. N., Laman N. A., Filatova I. I., Frolova T. V., Lyushkevich V. A., Chubrik N. I., Goncharik S. V. Influence of plasma and radio-wave treatment of corn seeds and their storage in adverse conditions on physiological and biochemical characteristics of seedlings. *Vestsi Natsyjanal'naj akademii navuk Belarusi. Seryja biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2018, vol. 63, no. 1, pp. 7–19 (in Russian).
6. Mildaziene V., Pauzaite G., Nauciene Z., Malakauskiene A., Zukiene R., Januskaitiene I., Jakstas V., Ivanauskas L., Filatova I., Lyushkevich V. Pre-sowing treatment with cold plasma and electromagnetic field increases secondary metabolite content in purple coneflower (*Echinacea purpurea*) leaves. *Plasma Processes and Polymers*, 2017, vol. 15, no. 2, p. 1700059. <https://doi.org/10.1002/ppap.201700059>
7. Cebulak T., Oszmiański J., Kapusta I., Lachowicz S. Effect of UV-C radiation, ultra-sonication electromagnetic field and microwaves on changes in polyphenolic compounds in chokeberry (*Aronia melanospora*). *Molecules*, 2017, vol. 22, no. 7, p. 1161. <https://doi.org/10.3390/molecules22071161>
8. Filatova I. I., Azharonok V. V., Goncharik S. V., Lyushkevich V. A., Zhukovsky A. G., Gadzhieva G. I. Effect of RF plasma treatment on the germination and phytosanitary state of seeds. *Journal of Applied Spectroscopy*, 2014, vol. 81, no. 2, pp. 250–256. <https://doi.org/10.1007/s10812-014-9918-5>
9. State Standard 12038-84. *Seeds of crops. Germination determination methods*. Moscow, Publishing house of standards, 1985. 55 p. (in Russian).
10. Alekseichuk G. N., Laman N. A. *Physiological quality of seeds of crops and methods for its assessment*. Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2005. 48 p. (in Russian).
11. Ladonne F. Relationship between standard germination test, conductivity test and field emergence of pea seeds. *Acta Horticulturae*, 1989, vol. 253, pp. 153–162. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1989.253.16>
12. Holasova M., Fiedlerova V., Smrcinova H., Orsak M., Lachman J., Vavreinova S. Buckwheat – the source of antioxidant activity in functional foods. *Food Research International*, 2002, vol. 35, no. 2–3, pp. 207–211. [https://doi.org/10.1016/s0963-9969\(01\)00185-5](https://doi.org/10.1016/s0963-9969(01)00185-5)
13. Mal'tseva E. M., Egorova N. O., Egorova I. N. Quantitative determination of the total content of flavonoids in the herb of *Sanguisorba officinalis* L. *Vestnik Ural'skoi meditsinskoi akademicheskoi nauki* [Bulletin of the Ural medical academic science], 2011, no. 3–1, pp. 68–69 (in Russian).
14. Shlyk A. A. Determination of chlorophyll and carotenoids in green leaf extracts. *Biokhimičeskie metody v fiziologii rastenii* [Biochemical methods in plant physiology]. Moscow, 1971, pp. 154–170 (in Russian).
15. Grantz S. A. *Primer of biostatistics. 7th ed.* New York, McGraw-Hill, 2011. 320 p.
16. Novoselova A. S. Selection and seed production of clover. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 200 p. (in Russian).
17. Mildažienė V., Aleknavičiūtė V., Žūkienė R., Paužaitė G., Naučienė Z., Filatova I., Lyushkevich V., Haimi P., Tamošiūnė I., Baniulis D. 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. *Scientific Reports*, 2019, vol. 9, no. 1, art. 6437. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42893-5>
18. Stamp N. Can the growth-differentiation balance hypothesis be tested rigorously? *Oikos*, vol. 107, no. 2, pp. 439–448. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.12039.x>

19. Deng B., Li Y., Xu D., Ye Q., Liu G. Nitrogen availability alters flavonoid accumulation in *Cyclocarya paliurus* via the effects on the internal carbon/nitrogen balance. *Scientific Reports*, 2019, vol. 9, no. 1, art. 2370. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38837-8>

20. Shiwakoti S., Shannon D. A., Wood C. W., Joshee N., Rimando A., Lawrence K. S., Kemppainen B. Nitrogen, phosphorus, and potassium effects on biomass yield and flavonoid content of American skullcap (*Scutellaria lateriflora*). *Journal of Plant Nutrition*, 2016, vol. 39, no. 9, pp. 1240–1249. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1050509>

21. Ballizany W. L., Hofmann R. W., Jahufer M. Z. Z., Barrett B. A. Genotype×environment analysis of flavonoid accumulation and morphology in white clover under contrasting field conditions. *Field Crops Research*, 2012, vol. 128, pp. 156–166. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.006>

22. Hofmann R. W., Jahufer M. Z. Z. Tradeoff between biomass and flavonoid accumulation in white clover reflects contrasting plant strategies. *PLoS ONE*, 2011, vol. 6, no. 4, p. e18949. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018949>

Информация об авторах

Недведь Елена Леонардовна – канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 2200072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nedved_e@tut.by

Калацкая Жанна Николаевна – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 2200072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kalatskayaj@mail.ru

Ламан Николай Афанасьевич – академик, д-р биол. наук, профессор, заведующий лабораторией. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 2200072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: laman.nikolai@gmail.com

Минкова Виктория Викторовна – мл. науч. сотрудник. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 2200072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: minkovavi@gmail.com

Герасимович Константин Михайлович – мл. науч. сотрудник. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 2200072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: herasimovichkm@gmail.com

Овчинников Игорь Алексеевич – ассистент. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 2200072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: igor-1606@mail.ru

Копылова Наталья Александровна – канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 2200072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: natal.kopylova.68@mail.ru

Филатова Ирина Ивановна – канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник. Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси (пр. Независимости, 68-2, 2200072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: filatova@presidium.bas-net.by

Люшкевич Вероника Александровна – науч. сотрудник. Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси (пр. Независимости, 68-2, 2200072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: verolyu@tut.by

Information about the authors

Helen L. Nedved – Ph. D. (Biol.), Senior researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 2200072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nedved_e@tut.by

Joanna N. Kalatskaja – Ph. D. (Biol.), Leading researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 2200072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kalatskayaj@mail.ru

Nikolai A. Laman – Academician, D. Sc. (Biol.), Professor, Head of the Laboratory. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 2200072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: laman.nikolai@gmail.com

Victoria V. Minkova – Junior researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 2200072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: minkovavi@gmail.com

Kanstantsin M. Herasimovich – Junior researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 2200072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: herasimovichkm@gmail.com

Igor A. Ovchinnikov – Assistant. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 2200072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: igor-1606@mail.ru

Natalia A. Kopylova – Ph. D. (Biol.), Senior researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 2200072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: natal.kopylova.68@mail.ru

Irina I. Filatova – Ph. D. (Phys. and Math.), Leading researcher. B. I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus (68-2, Nezavisimosti Ave., 2200072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: filatova@presidium.bas-net.by

Veronika A. Lyushkevich – Researcher. B. I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus (68-2, Nezavisimosti Ave., 2200072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: verolyu@tut.by