

АГРОНОМИЯ

УДК 633.11:537.8

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-249-7-5-9

О.М. Соболева, А.И. Пузикова

O.M. Soboleva, A.I. Puzikova

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ И ВОДНОГО ДЕФИЦИТА НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

EFFECTS OF ULTRAHIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD AND WATER DEFICIT ON SPRING WHEAT YIELDS

Ключевые слова: электромагнитное поле сверхвысокой частоты, СВЧ, предпосевная обработка, яровая пшеница, адаптация, водный дефицит, засуха, урожайность, выполненность зерна.

Засуха является одним из ведущих лимитирующих факторов выращивания сельскохозяйственных культур, особенно в зоне рискованного земледелия. Актуальным остается поиск эффективных и простых в осуществлении, а также экологических способов увеличения адаптационных возможностей растений за счет предпосевной обработки. Одним из таких методов является воздействие электромагнитного поля сверхвысокой частоты (СВЧ). Целью работы стало изучение совместного влияния электромагнитного поля сверхвысокой частоты и водного дефицита на урожайность яровой пшеницы. В 2019-2020 гг. во время вегетационного опыта были смоделированы условия засухи («засушник»). Объектами являлись семена мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Новосибирская 31. Схема эксперимента включала в себя 4 варианта обработки: 1) контроль, без обработки, нормальные условия увлажнения; 2) без обработки, условия водного дефицита; 3) предпосевная обработка семян электромагнитного поля сверхвысокой частоты, мощность 0,42 Вт, экспозиция 11 с, нормальные условия увлажнения; 4) предпосевная обработка семян электромагнитного поля сверхвысокой частоты, условия водного дефицита. В наших экспериментах показаны ответные реакции злаков на последовательное действие электромагнитного поля сверхвысокой частоты и засухи. В нормальных условиях увлажнения урожайность составила в среднем 32,7 ц/га. Использование СВЧ-обработки привело к прибавке в 31,5%. Водный дефицит приводит к снижению урожайности в 1,5 раза относительно контроля. Предпосевная СВЧ-обработка нивелирует водный стресс и потерю урожайности: разница составляет 11,3% относительно контроля. В условиях острого дефицита воды пшеница переключает потоки пластических веществ и энергии с вегетативных

процессов на генеративные. СВЧ-обработка повышает массу зерновок, приводя к формированию более饱满ного зерна.

Keywords: ultrahigh frequency electromagnetic field, UHF, pre-sowing treatment, spring wheat, adaptation, water deficit, drought, yield, grain plumpness.

Drought is one of the major limiting factors in crop growing especially in risky farming areas. The search for efficient, easy-to-implement and environmentally friendly ways to increase the adaptive abilities of plants through pre-sowing treatment remains relevant. One of these methods is exposure to ultrahigh frequency electromagnetic field. The research goal was to study the combined effect of the electromagnetic field of ultrahigh frequency and water deficit on spring wheat yields. In 2019 and 2020, during the greenhouse experiment, the conditions of drought (rainfall shelter) were simulated. The research targets were soft spring wheat seeds (*Triticum aestivum* L.) of the Novosibirskaya 31 variety. The experimental design included four treatment variants: 1) control, no treatment, normal moisture conditions; 2) no treatment, water deficit conditions; 3) pre-sowing treatment of seeds by ultrahigh frequency electromagnetic field, power 0.42 W, exposure 11 s, normal moisture conditions; 4) pre-sowing treatment of seeds by ultrahigh frequency electromagnetic field, water deficit conditions. Our experiments showed cereal response to the successive action of ultrahigh frequency electromagnetic field and drought. Under normal moisture conditions, the yield averaged 3.27 t/ha. The treatment with ultrahigh frequency electromagnetic field resulted in yield gain of 31.5%. Water deficit leads to a 1.5-fold decrease of yield compared to the control. Pre-sowing UHF treatment eliminates water stress and yield loss: the difference is 11.3% compared to the control. Under the conditions of severe water deficit, wheat switches the flow of plastic substances and energy from growing processes to generative ones. The UHF treatment increases the kernel weight leading to the formation of more filled grains.

Соболева Ольга Михайловна, к.б.н., доцент, ФГБОУ ВО КемГМУ Минздрава России, г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: meer@yandex.ru.

Пузикова Алена Игоревна, науч. сотр., Кузбасский ГАУ, г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: goppe1991@mail.ru.

Soboleva Olga Mikhaylovna, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: meer@yandex.ru.

Puzikova Alena Igorevna, Researcher, Kuzbass State Agricultural University, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: goppe1991@mail.ru.

Введение

Засуха является одним из основных ограничений для производства продовольствия во всем мире. Поскольку население мира продолжает расти, а водные ресурсы для производства сельскохозяйственных культур сокращаются, развитие засухоустойчивых сортов, эффективных в использовании водных ресурсов культур, разработка методов повышения засухоустойчивости являются глобальной проблемой [1]. Даже самые продуктивные сельскохозяйственные регионы испытывают короткие периоды засухи почти в течение любого года, а иногда и сильные засухи.

В результате проведенных за последние десятилетия научно-исследовательских и селекционных работ значительно повысилась урожайность, улучшилось качество зерна злаковых культур [2]. В настоящее время безопасность урожая приобрела еще большее значение из-за прогнозируемых климатических изменений. Засуха и высокая температура рассматриваются как ключевые стрессовые факторы с высоким потенциальным отрицательным воздействием на урожайность сельскохозяйственных культур [3]. Приемлемый уровень безопасности получаемого зерна может быть достигнут только в том случае, если попытки селекции и методы повышения засухоустойчивости будут основываться на новых знаниях о процессах, определяющих развитие растений и их реакции на стресс [4].

Электрофизические методы предпосевной обработки семян злаковых культур отвечают требованиям безопасности, экономической эффективности и способны привести к усилению адаптационных возможностей растений. Интересно, что в настоящее время накоплен экспериментальный материал, свидетельствующий о влиянии электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) на засухоустойчивость растений, однако характер этого воздействия может быть прямо противоположным – как от положительного, увеличивающего степень засухоустойчивости растений [5], так и до отрицательного, снижающего ее [6].

Цель – изучить характер совместного влияния электромагнитного поля сверхвысокой частоты и водного дефицита на урожайность яровой пшеницы.

Объекты и методы

Влияние ЭМП СВЧ на урожайность злаков в условиях модельной засухи вегетационного опыта («засушник») по В.В. Маймистову [7] в 2019-2020 гг. Объекты: семена мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Новосибирская 31.

Схема эксперимента включала в себя четыре варианта обработки: 1) контроль, без обработки, нормальные условия увлажнения (НУВ); 2) без обработки, условия водного дефицита (УВД); 3) предпосевная обработка семян ЭМП СВЧ, мощность 0,42 Вт, экспозиция 11 с, НУВ; 4) предпосевная обработка семян ЭМП СВЧ, УВД.

На площадке устанавливали стеллажи (2,1x4,0x0,7 м), площадь деланки составляла 0,45 м². Развитие растений проходило до фазы «рост стебля» в опыте и в контроле в одинаковых условиях. Затем, до достижения восковой спелости зерна, растения в опыте выращивали без доступа воды при нарастающем ее дефиците (30% полной влагоемкости), в контроле – при оптимальном увлажнении за счет полива (70% ПВ). Определялись морфометрические показатели (высота растений, см) и биологическая урожайность, а также степень выполненности сформировавшихся зерновок.

Статистическая обработка полученных данных и построение графиков выполнены в программе Microsoft Office Excel. Исследования выполнены в 3 биологических и 3 аналитических повторностях. Данные представлены в виде средних арифметических и среднеквадратичных отклонений; достоверность отличий по сравнению с контролем находили по F-критерию при уровне значимости 0,05 (в таблицах достоверные различия обозначены знаком*).

Результаты и их обсуждение

Данные вегетационного опыта свидетельствуют о том, что предварительная СВЧ-обработка семян пшеницы приводит к улучшению роста растений и повышению урожайности зерна (табл. 1). Так, высота контрольных растений пшеницы сорта Новосибирская 31, служащая интегративным показателем роста, составила в среднем за 2 года исследований 72 см.

При росте растений, развивающихся из СВЧ-обработанных семян, в нормальных условиях увлажнения прибавка к контролю достигла 5,6%. На величину отклика пшеницы на предпосевную обработку семян в ЭМП СВЧ оказывают влияние и погодно-климатические особенности года. Так, в 2019 г. прибавка к контролю составила 9,2%, в то время как в 2020 г. – только 2,1%.

Таблица 1

Влияние СВЧ-обработки на урожайность пшеницы на провокационном фоне («засушник»), 2019-2020 гг.

Вариант обработки	Высота растений, см			Урожайность, ц/га		
	2019 г.	2020 г.	среднее	2019 г.	2020 г.	среднее
Контроль, без СВЧ, НУВ	69,3±3,2	74,6±2,1	72,0	31,9±1,1	33,5±1,3	32,7
СВЧ, НУВ	75,7±3,5	76,2±4,1	76,0	43,2*±2,0	42,8*±1,2	43,0
Без СВЧ, УВД	44,2*±1,8	46,1*±1,6	45,2	20,5*±0,8	21,6*±0,9	21,1
СВЧ, УВД	51,6*±2,4	59,9*±1,9	55,8	28,2*±1,2	29,7*±0,7	29,0

Примечание. *Статистическая значимость различий ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем.

Введение фактора водного дефицита в эксперимент показало, что недостаток влаги приводит к уменьшению высоты пшеницы в среднем в 1,6 раза относительно контрольных значений, причем по годам изучения эта разница оставалась неизменной. Этот факт можно рассматривать как генетически детерминированный отклик пшеницы на условия сильного недостатка воды. Последовательное воздействие ЭМП СВЧ и засухи на растения говорит о том, что первый фактор – СВЧ-поле – проявляет себя как преадаптационный триггер, реализующийся в механизме кросс-адаптации. Фактически именно результат сопряженной устойчивости мы наблюдаем в данном эксперименте, проявляющийся в меньшем ингибировании роста растений при последовательном влиянии ЭМП и засухи, чем при действии одной только засухи – разница между этими двумя вариантами обработки составила, в среднем, 23,5%. Таким образом, разница с контролем (без СВЧ, НУВ) варианта «СВЧ, УВД» составляет только 1,3 раза. Электромагнитное поле, выступающее в роли малого стрессора, запустило более ранний адаптационный ответ, приведший к нивелированию тяжелых последствий выраженного осмотического стресса.

Выращивание сельскохозяйственных культур должно иметь экономический эффект, поэтому немаловажным представляется изучение отклика растений на совместное действие СВЧ и засухи, проявляющегося в формировании урожая зерна. Развитие растений в нормальных усло-

виях увлажнения позволило сформировать урожайность на уровне 32,7 ц/га. На варианте выращивания СВЧ-обработанных экземпляров это дало возможность получить прибавку к этому значению в 10,3 ц/га, или, соответственно, 31,5% (колебания по годам составили от 27,8 до 35,4%). Водный дефицит, действующий на растения в течение вегетационного периода, приводит к существенным потерям урожайности, выражающимся в 1,5-кратном снижении относительно контроля. Предпосевная СВЧ-обработка, как и в случае с ростом растений, нивелирует негативный эффект осмотического стресса и уменьшает потерю урожайности: относительно контрольных значений разница составляет 11,3%.

Отмечается разница между ингибированием ростовых процессов и процессов формирования зерна на вариантах №1 (без СВЧ, НУВ) и № 4 (СВЧ, УВД), составляет, соответственно, 22,5 и 11,3%. Двукратный разрыв свидетельствует о том, что в условиях острого дефицита воды пшеница переключает потоки пластических веществ и энергии с вегетативных процессов на генеративные.

В таблице 2 показан характер последовательного влияния ЭМП СВЧ и водного дефицита на выполненность зерна пшеницы. Для указанных показателей отмечаются те же тенденции, что и для рассмотренных выше высоты растений и урожайности: СВЧ-обработка повышает массу зерновок, приводя к формированию более выполненного зерна, действие только водного

дефицита существенно снижает значения показателей. Разница между контролем и вариантом

с действием ЭМП СВЧ составляет, в среднем, для массы 1000 зерен 7,1%, дляnatуры – 5,6%.

Таблица 2

Влияние СВЧ-обработки на выполненность зерновки пшеницы на провокационном фоне («засушник»), 2019-2020 гг.

Вариант обработки	Масса 1000 зерен, г			Натура, г/л		
	2019 г.	2020 г.	среднее	2019 г.	2020 г.	среднее
Контроль, без СВЧ, нормальное увлажнение	44,1±1,4	51,3±3,5	47,7	671,4±54,1	695,4±51,7	683,4
СВЧ, нормальное увлажнение	48,4*±2,3	53,7*±3,2	51,1	724,6*±66,3	718,7*±63,1	721,7
Без СВЧ, водный дефицит	22,2*±0,9	21,0*±2,0	21,6	466,8*±34,3	470,2*±39,1	468,5
СВЧ, водный дефицит	28,1*±1,8	36,1*±2,8	32,1	553,5*±41,9	581,2*±44,4	567,4

Примечание. *Статистическая значимость различий ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем.

Влияние острой нехватки воды приводит к уменьшению по сравнению с контролем значений этих показателей в 2,2 и 1,5 раза соответственно. Положительный эффект СВЧ-обработки перед последующим развитием в условиях дефицита воды выражается в том, что относительно контроля происходит снижение массы 1000 зерен и natуры зерна на 32,7% и 17,0% соответственно.

Повышение засухоустойчивости культурных злаков – актуальная общемировая проблема, к решению которой можно найти несколько подходов, имеющих разную экологическую безопасность и экономическую эффективность. Одним из путей повышения адаптационных возможностей растений в отношении осмотического стресса может выступать электромагнитное поле сверхвысокой частоты. Данный физический фактор при определенных режимах проявляет себя как малый стрессор, запускающий в организме проростков злаков каскад неспецифических ответных реакций, некоторые из которых оказываются полезными и в отношении засухоустойчивости. В данном случае имеем дело с явлением кросс-адаптации, когда действие первого стрессора приводит к повышению устойчивости к влиянию второго.

Заклучение

В наших экспериментах показаны ответные реакции злаков на последовательное действие ЭМП СВЧ и засухи. При воздействии электромагнитного стресс-фактора в растениях нет сформированного механизма, который бы обеспечивал их приспособление, наблюдаются только генетически детерминированные предпосыл-

ки. При развитии в полевых провокационных условиях «засушника» предварительно СВЧ-обработанные растения пшеницы продемонстрировали более высокий уровень устойчивости к действию влаги, чем необработанные экzemпляры – повышается урожайность и выполненность зерновки относительно условий водного дефицита и без СВЧ-обработки.

Библиографический список

1. FAO. Proactive Approaches to Drought Preparedness – where Are We Now and where Do We Go from Here? – Rome, 2019. – 51 s.
2. Киселева, Т. Н. Формирование урожая зерна яровой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян и фона питания в Кемеровском НИИСХ / Т. Н. Киселева, О. В. Анохина. – Текст: электронный // Каталог выпускных квалификационных работ Кузбасского государственного аграрного университета – 2024. – Кемерово: Кузбасский ГАУ, 2024. – С. 59-61. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=77036862> (дата обращения: 28.04.2025).
3. Degenkolbe, T., Do, P. T., Kopka, J., et al. (2013). Identification of drought tolerance markers in a diverse population of rice cultivars by expression and metabolite profiling. *PLoS One*, 8 (5), e63637. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063637>.
4. Петин, В. А. Изменение состава фотосинтетических пигментов у проростков яровой мягкой пшеницы под действием осмотического стресса / В. А. Петин, Л. П. Хлебцова, С. Б. Лепехов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1. – С. 16-20.

5. Maswada, H.F., Sunoj, V.S.J. & Prasad, P.V.V. (2021). A comparative Study on the Effect of Seed Pre-sowing Treatments with Microwave Radiation and Salicylic Acid in Alleviating the Drought-Induced Damage in Wheat. *J Plant Growth Regulation*, 40, 48–66. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10079-3>.

6. Soran, M. L., et al. (2014). Influence of microwave frequency electromagnetic radiation on terpene emission and content in aromatic plants. *Journal of Plant Physiology*, 171 (15), 1436–1443. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.013>.

7. Маймистов, В. В. Морфо-физиологические особенности засухоустойчивости высокопродуктивных сортов озимой пшеницы / В. В. Маймистов. – Текст: непосредственный // Научные труды. Юбилейный выпуск, посвященный 95-летию со дня рождения академика П. П. Лукьяненко. – 1996. – С. 238-246.

References

1. FAO. 2019. Proactive approaches to drought preparedness - Where are we now and where do we go from here? Rome. - 51 p.

2. Kiseleva, T.N. Formirovanie urozhaya zerna yarovoy pshenitsy v zavisimosti ot predposevnoy obrabotki semyan i fona pitaniya v Kemerovskom NIISKH / T.N. Kiseleva, O.V. Anokhina // Katalog vypusknykh kvalifikatsionnykh rabot Kuzbasskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta - 2024. – Kemerovo: Kuzbasskiy GAU, 2024. – S. 59-61.

3. Degenkolbe, T., Do, P. T., Kopka, J., et al. (2013). Identification of drought tolerance markers in a diverse population of rice cultivars by expression and metabolite profiling. *PLoS One*, 8 (5), e63637. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063637>.

4. Petin, V.A. Izmenenie sostava fotosinteticheskikh pigmentov u prorostkov yarovoy myagkoy pshenitsy pod deystviem osmoticheskogo stressa / V. A. Petin, L. P. Khlebova, S. B. Lepekhov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – No. 1. – S. 16-20.

5. Maswada, H.F., Sunoj, V.S.J. & Prasad, P.V.V. (2021). A comparative Study on the Effect of Seed Pre-sowing Treatments with Microwave Radiation and Salicylic Acid in Alleviating the Drought-Induced Damage in Wheat. *J Plant Growth Regulation*, 40, 48–66. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10079-3>.

6. Soran, M. L., et al. (2014). Influence of microwave frequency electromagnetic radiation on terpene emission and content in aromatic plants. *Journal of Plant Physiology*, 171 (15), 1436–1443. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.013>.

7. Maymistov, V.V. Morfo-fiziologicheskie osobennosti zasukhoustoychivosti vysokoproduktivnykh sortov ozimoy pshenitsy // Nauchnye trudy. Yubileynyy vypusk, posvyashchennyy 95-letiyu so dnya rozhdeniya akademika P.P. Lukyanenko. – 1996. – S. 238-246.



УДК 631.9:004.048

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-249-7-9-15

О.С. Крылова, В.К. Каличкин

O.S. Krylova, V.K. Kalichkin

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

MACHINE LEARNING FOR FORECASTING SPRING BARLEY YIELD DEPENDING ON AGROCLIMATIC CONDITIONS

Ключевые слова: яровой ячмень, прогнозирование урожайности, машинное обучение, агроклиматические условия, лесостепь Приобья.

Представлены результаты исследования по прогнозированию урожайности ярового ячменя в зависимости от агроклиматических условий года возделывания с помощью методов машинного обучения. Для прогнозирования урожайности культуры ячменя использовали данные, полученные в полевом опыте лаборатории

генофонда растений СибНИИРС – филиала ИЦИГ СО РАН в 2014-2024 гг., расположенного в р.п. Краснообск Новосибирского района Новосибирской области. Агроклиматические ресурсы в годы исследований рассчитаны по данным АМС «Огурцово». Для обучения и тестирования моделей машинного обучения использовали три набора данных, содержащие в различном сочетании признаки и переменную отклика – урожайность ярового ячменя, г/м². В качестве цифровых признаков использовали среднемесячные и среднедекадные тем-