

Кратковременное воздействие импульсного магнитного поля на семена пшеницы мягкой *Triticum aestivum* (L.) для улучшения их посевных качеств

О. В. БЛЕДНЫХ¹, Н. А. РОДЕНКО¹, В. А. ГЛУЩЕНКОВ¹, А. В. МИЛЕХИН², С. Л. РУБЦОВ²

¹Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Студенческий пер., 3а, Самара, 443001, Российская Федерация

²Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Самарского научного центра РАН, ул. К. Маркса, 41, пос. Безенчук, Безенчукский р-н, Самарская обл., 446254, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили в 2024 г. с целью определения параметров воздействия импульсного магнитного поля (ИМП) на семена пшеницы мягкой для улучшения посевных качеств и прорастания в условиях температурного стресса. Обработку ИМП семян сортов Интеграция, Тулайковская надежда и Скирда проводили на многорежимной установке МИО-БИО-5 тремя импульсами длительностью $\tau = 40 \dots 400$ мксек в диапазоне индукций $B_{\text{сп}} = 0,53 \dots 5,21$ Тл. По результатам проращивания семян оценивали лабораторную всхожесть, энергию прорастания за 24...120 ч, силу роста и индекс жизнеспособности. Отмечено увеличение энергии прорастания сорта Тулайковская надежда после обработки ИМП за первые 24 ч в 1,2...1,5 раза ($p < 0,001$), силы роста – в 6...7 раз ($p < 0,001$) и индекса жизнеспособности в 3,1...3,4 раза ($p < 0,001$), по отношению к контролю. После обработки ИМП индукцией $B_{\text{сп}} = 2,21$ Тл сухих и предварительно замоченных семян на фоне последующего 30-минутного воздействия высокой температуры ($t = 40 \pm 2^\circ\text{C}$) происходило увеличение потребления воды при прорастании соответственно в 1,1 раза ($p < 0,05$) и 1,4 раза ($p < 0,01$), способности удерживать влагу – в 2,0 раза ($p < 0,05$) и 3,3 раза ($p < 0,01$), снижение потери влаги – в 1,2 раза ($p < 0,05$) и 1,4 раза ($p < 0,01$), по сравнению с контролем. Энергия прорастания после воздействия низкой температуры ($t = 10 \pm 2^\circ\text{C}$) в течении суток при обработке ИМП не снижается.

Ключевые слова: пшеница мягкая (*Triticum aestivum* L.), сорт, ИМП, индукция, всхожесть, энергия прорастания, сила роста, индекс жизнеспособности, температурный стресс, потребление воды, удержание влаги, потеря влаги.

Сведения об авторах: О. В. Бледных, научный сотрудник (e-mail: helgv@blednykh.ru); Н. А. Роденко, аспирант, научный сотрудник; В. А. Глушченков, кандидат технических наук, старший научный сотрудник; А. В. Милехин, кандидат сельскохозяйственных наук, директор; С. Л. Рубцов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник.

Для цитирования: Кратковременное воздействие импульсного магнитного поля на семена пшеницы мягкой *Triticum aestivum* (L.) для улучшения их посевных качеств / О. В. Бледных, Н. А. Роденко, В. А. Глушченков и др. // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 12. С. 30–34. doi: 10.53859/02352451_2024_38_12_30

Short-term effect of pulsed magnetic field on seeds of soft wheat *Triticum aestivum* (L.) to improve their sowing qualities

O. V. Blednyh¹, N. A. Rodenko¹, V. A. Glushchenkov¹, A. V. Milekhin², S. L. Rubtsov²

¹Samara Federal Research Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Studencheskii per., 3a, Samara, 443001, Russian Federation

²Samara Research Agricultural Institute, Samara Scientific Center, Russian Academy of Sciences, ul. K. Marksa, 41, pos. Bezenchuk, Bezenchukskii r-n, Samarskaya obl., 446254, Russian Federation

Abstract. The studies were conducted in 2024 to determine the parameters of the pulsed magnetic field (PMF) effect on soft wheat seeds to improve sowing qualities and germination under temperature stress. The PMF treatment of seeds of the Integratsiya, Tulaikovskaya Nadezhda and Skirda varieties was carried out on a multi-mode MIO-BIO-5 unit with three pulses of duration $\tau = 40\text{--}400$ μsec in the induction range $H_{\text{сп}} = 0.53\text{--}5.21$ T. Based on the results of seed germination, laboratory germination, germination energy for 24–120 h, growth strength and viability index were assessed. An increase in the germination energy of the Tulaikovskaya Nadezhda variety after treatment with PMF in the first 24 hours was observed by 1.2–1.5 times ($p < 0.001$), growth force by 6–7 times ($p < 0.001$) and the viability index by 3.1–3.4 times ($p < 0.001$), in relation to the control. After PMF treatment with induction $H_{\text{сп}} = 2.21$ T of dry and pre-soaked seeds against the background of subsequent 30-minute exposure to high temperature ($t = 40 \pm 2$ degrees Celsius), there was an increase in water consumption during germination by 1.1 times ($p < 0.05$) and 1.4 times ($p < 0.01$), respectively, the ability to retain moisture – by 2.0 times ($p < 0.05$) and 3.3 times ($p < 0.01$), a decrease in moisture loss – by 1.2 times ($p < 0.05$) and 1.4 times ($p < 0.01$), compared to the control. Germination energy after exposure to low temperature ($t = 10 \pm 2$ degrees Celsius) during the day with PMF treatment does not decrease.

Keywords: common wheat (*Triticum aestivum* L.), variety, PMF, induction, germination, germination energy, growth force, viability index, temperature stress, water consumption, moisture retention, moisture loss.

Author Details: O. V. Blednyh, research fellow (e-mail: helgv@blednykh.ru); N. A. Rodenko, post graduate student, research fellow; V. A. Glushchenkov, Cand. Sc. (Techn.), senior research fellow; A. V. Milekhin, Cand. Sc. (Agr.), director; S. L. Rubtsov, Cand. Sc. (Agr.), leading research fellow.

For citation: Blednyh OV, Rodenko NA, Glushchenkov VA, et al. [Short-term effect of pulsed magnetic field on seeds of soft wheat *Triticum aestivum* (L.) to improve their sowing qualities]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(12):30–4. Russian. doi: 10.53859/02352451_2024_38_12_30

Для повышения всхожести семян используют биологические, химические и физические способы, которые могут повышать урожайность путем стимуляции и активации жизнедеятельности растений [1]. Применение биофизических воздействий, таких как, например, импульсная электромагнитная стимуляция полями с высокой индукцией (ИМП), выступает более перспективным и экологически безопасным методом.

В работе [2] показано влияние магнитных полей на полевые, кормовые, технические культуры, злаки, лекарственные растения, садовые культуры в широком диапазоне воздействия от нескольких нанотесла (нТл) до десятков Тл, а также вплоть до влияния полей геомагнитных уровней (ГМП)

порядка 4...6 мкТл. Кроме того, установлено, что ответная реакция растений на действие магнитного поля, даже на один и тот же воздействующий фактор, зависит от сорта и состояния семян [3].

Немаловажно и то, что растения, выросшие из обработанных семян, не имеют в дальнейшем патологических изменений и индуцированных мутаций [4].

Применение магнитного поля при обработке семян гороха и фасоли с индукцией магнитного поля $B = 65$ мТл в течение 5...15 минут перед посевом показало повышение урожайности гороха на 42 %, фасоли – на 23 % [5]. Отмечено увеличение всхожести и энергии прорастания семян сорта земляники садовой Зенга Зенгана на 14 % при длительно-

сти воздействия 360 сек. при индукции $B = 5$ мТл и частоте $f = 16$ Гц [6]. Обработка низкочастотным электромагнитным полем семян пшеницы в течение 9 минут при индукции $B = 6$ мТл и частоте $f = 16$ Гц повышала всхожесть семян и энергию прорастания на 12...13 %, увеличивала массу растений в фазе кущения на 20...25 %, что свидетельствует о стимулирующем воздействии магнитного поля на целостность мембран и ростовые характеристики проростков пшеницы [7]. В работе [1] отмечен рост полевой всхожести семян ячменя на 5...15 %, урожайности – на 17,5 % при обработке семян ячменя электромагнитным полем переменного тока при напряженности от 2 до 5 кВ/см и экспозиции до 60 с.

Цель исследования – определить параметры магнитно-импульсного воздействия на семена пшеницы мягкой *Triticum aestivum* (L.) для улучшения посевных качеств и прорастания в условиях температурного стресса.

Условия, материалы и методы. Работу проводили в 2024 г. в лаборатории «Биоинженерия» СамНЦ РАН на экспериментальной многорежимной установке МИУ-БИО-5 [8, 9] с использованием цилиндрической многовитковой катушки индуктивностью $L = 13,52 \cdot 10^{-3}$ Гн и частотой разрядного тока $f = 15,7$ кГц, геометрические размеры которой позволяют обрабатывать биообъекты в стандартных стеклянных пробирках диаметром 15 мм и высотой 115 мм.

Первый эксперимент по изучению воздействия ИМП на всхожесть выполняли на семенах пшеницы мягкой сортов Интеграция, Тулайковская надежда и Скирда. Второй эксперимент по определению влияния ИМП на устойчивость прорастающих семян к температурному стрессу и потреблению воды проводили на основе результатов первого эксперимента.

Для первого эксперимента отбирали по 750 семян каждого сорта, для второго – по 540 семян с учетом следующих признаков: отсутствие механических повреждений, поражения плесневыми грибами, повреждений насекомыми и вредителями, размер и цвет. Затем выполняли их обработку в ИМП.

Тест на лабораторную всхожесть проводили согласно ГОСТ 12038-84. Эксперименты выполняли в трех повторностях. Статистическую обработку данных осуществляли методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) в программе jamovi 2.3.28. Различия принимали статистически значимыми при уровнях $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$.

Обработку ИМП сухих и предварительно замоченных семян пшеницы мягкой проводили в пробирках, которые располагали в цилиндрическом многовитковом индукторе в области равномерного магнитного поля.

Амплитуду напряжения ($U_{\max}$, В), частоту разрядного тока (f , кГц), длительность импульса (t , мсек), период импульсной последовательности (T), скважность разряда (Δt , сек) фиксировали с использованием импульсного осциллографа WaveSurfer 3000zR (Teledyne LeCroy, США). Далее осуществляли расчет напряженности магнитного поля с учетом коэффициента датчика Холла, амплитуды напряжения и частоты разряда по формуле:

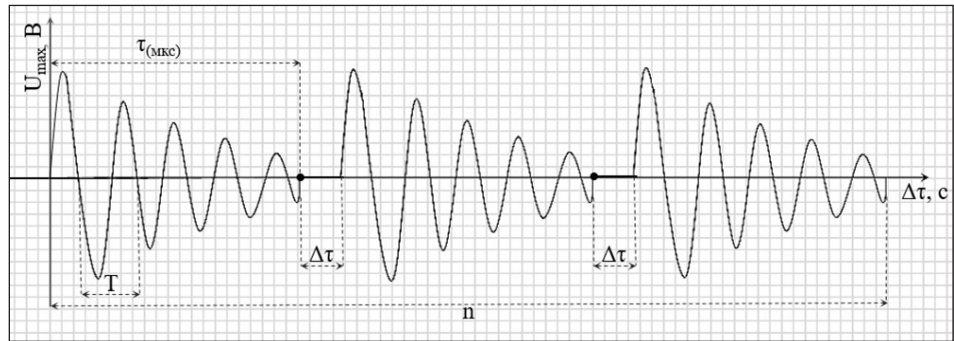


Рис. 1. Кривые напряженности магнитного поля в серии из трех импульсов при использовании цилиндрического многовиткового индуктора для обработки биообъектов.

$$H = \frac{k \cdot U_{\max}}{f}, \quad (1)$$

где H – напряженность магнитного поля, А/м; k – коэффициент датчика Холла, ((А/м)Гц)/В; $U_{\max}$ – амплитуда напряжения, В; f – частота разряда, Гц.

При исследовании воздействия на пшеницу использовали пакет из трех импульсов с задержкой по времени $t = 3$ с (рис. 1).

Для удобства анализа данных эксперимента напряженность магнитного поля была пересчитана в индукцию ($H \rightarrow B$) согласно формуле:

$$B_{cp} = \mu \cdot \mu_0 \cdot H, \quad (2)$$

где B_{cp} – индукция, Тл; μ – магнитная проницаемость воздуха (вакуума) равная 1, Гн/м; μ_0 – магнитная постоянная ($4\pi \cdot 10^{-7}$), Гн/м; H – напряженность магнитного поля, А/м.

После анализа результатов замеров были подобраны параметры обработки семян ИМП (табл. 1). За контроль принимали семена, подверженные только воздействию геомагнитного поля (ГМП $\approx 56,51$ мкТл).

В рамках первого эксперимента после воздействия ИМП семена пшеницы на 15 минут замачивали в 2 %-ном растворе $KMnO_4$, затем промывали дистиллированной водой, высушивали при комнатной температуре в течение 60 минут и переносили для проращивания в чашки Петри, на обильно смоченные дистиллированной водой диски фильтровальной бумаги. Проращивание проводили при температуре 22 ± 2 °С. Через сутки подсчитывали общее количество проросших семян, а высохшие диски фильтровальной бумаги смачивали дистиллированной водой. На третьи сутки покрывающие диски убирали, а семена увлажняли, окончательный подсчет проросших семян проводили на пятые сутки.

Для оценки лабораторной всхожести, энергии прорастания (через 24 и 120 ч) и силы роста использовали следующие формулы (ГОСТ 12038-84 и ГОСТ 10968-88):

$$x = \frac{a}{b} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где x – всхожесть, %; a – количество проросших семян, шт.; b – общее количество семян, шт.;

$$E_{24} = \frac{a_{24}}{b} \cdot 100\%, \quad (4)$$

Таблица 1. Параметры воздействия ИМП* на семена пшеницы мягкой

Опытная партия	Напряжённость ИМП (H_{cp}), А/м	Индукция ИМП (B_{cp}), Тл	Длительность импульса (t), мсек
Контроль (ГМП $\approx 56,51$ мкТл)	-	-	-
1	$0,42 \cdot 10^6$	0,53	44
2	$1,77 \cdot 10^6$	2,21	160
3	$2,97 \cdot 10^6$	3,71	197
4	$4,17 \cdot 10^6$	5,21	333

*частота разрядного тока (f) – 15,7 кГц, число импульсов (n) – 3, скважность разряда (Δt) – 3 с.

Таблица 2. Влияние ИМП на всхожесть, энергию прорастания, силу роста и индекс жизнеспособности семян сортов пшеницы мягкой

Фактор	Лабораторная всхожесть (x), %	Энергия прорастания, %		Сила роста (F), %	Индекс жизнеспособности (I), ед.
		E ₂₄	E ₁₂₀		
Интеграция					
Контроль (ГМП ≈ 56,51 кТл)	91,6±2,6	28,0±19,7	91,2±1,7	36,1±5,0	230,8±0,2
ИМП, В _{ср} = 0,53 Тл	86,7±1,2	28,0±23,6	82,1±5,4	13,3±12,1	121,4±0,5
ИМП, В _{ср} = 2,21 Тл	85,3±6,4	27,3±25,0	78,0±10,5	85,9±1,4***	254,2±0,2***
ИМП, В _{ср} = 3,71 Тл	90,7±3,1	45,3±14,5*	83,1±1,6	89,7±1,8***	387,3±0,2***
ИМП, В _{ср} = 5,21 Тл	87,3±2,3	20,7±8,1	83,8±4,1	89,4±1,0***	376,3±0,2***
Тулайковская надежда					
Контроль (ГМП ≈ 56,51 мкТл)	89,0±6,1	28,0±19,7	75,1±1,7	12,7±11,0	113,9±0,3
ИМП, В _{ср} = 0,53 Тл	84,0±5,3	42,0±12,6*	72,1±0,3	85,5±0,8***	369,9±0,7***
ИМП, В _{ср} = 2,21 Тл	83,3±3,1	40,6±10,1*	71,8±0,8	91,4±0,8***	383,2±0,2***
ИМП, В _{ср} = 3,71 Тл	81,3±11,6	46,6±15,5*	65,1±0,8	88,5±0,8***	348,8±0,4***
ИМП, В _{ср} = 5,21 Тл	80,0±2,0	34,6±11,0*	69,3±0,8	88,5±1,4***	352,0±0,4***
Скирда					
Контроль (ГМП ≈ 56,51 мкТл)	93,3±6,4	42,0±0,5	76,0±0,6	95,3±0,4	606,5±0,5
ИМП, В _{ср} = 0,53 Тл	88,0±3,5	24,0±31,7	84,0±0,2***	88,6±0,3	506,9±0,3
ИМП, В _{ср} = 2,21 Тл	84,7±14,7	2,37±7,6	74,0±0,2	89,3±0,3	534,5±0,6
ИМП, В _{ср} = 3,71 Тл	80,7±11,4	46,0±7,2	64,0±0,2	86,8±0,4	407,5±0,5
ИМП, В _{ср} = 5,21 Тл	94,7±3,1	46,0±20,3	88,0±0,3***	96,4±0,5	852,3±0,3***

* здесь и на рис. 2, 3 различия с контролем достоверны при $p < 0,05$;*** здесь и на рис. 2 различия с контролем достоверны при $p < 0,001$.

где E_{24} – энергия прорастания за 24 ч, %; a_{24} – количество проросших за 24 ч семян ($b - N$), шт; N – не проросшие за 24 ч семена; b – общее количество семян, шт. (энергию прорастания за 120 ч (E_{120}) рассчитывали по аналогичной формуле с использованием показателей, установленных в соответствующие сроки);

$$F = \frac{c}{a} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где F – сила роста, %; c – количество ростков длиной от 1 см, шт.; a – общее количество проросших семян, шт.

Кроме этого, вычисляли индекс жизнеспособности (I) [10]:

$$I_j = x \cdot y, \quad (6)$$

где I_j – индекс жизнеспособности, ед.; x – всхожесть, %; y – длина ростка, см.

На основании анализа результатов первого эксперимента, для проведения второго опыта, который предусматривал оценку потребления воды, удержания и потери влаги, а также энергии прорастания при температурном стрессе были выбраны семена сорта Тулайковская надежда. Обработку осуществляли ИМП индукцией $B_{ср} = 2,21$ Тл. При этом одну часть из них обрабатывали сухими (вариант – сухие семена), вторую предварительно в течении 4 ч замачивали в дистиллированной воде (вариант – замоченные семена). В качестве контроля использовали семена, подверженные только воздействию геомагнитного поля (ГМП ≈ 56,51 мкТл). После воздействия ИМП выполняли операции, описанные в подготовительной части первого эксперимента. Через 24 ч семена разделяли на три партии, которые подвергали воздействию различных температур. Влияние на прорастающие семена в течении суток низкой температуры ($t = 10 \pm 2^\circ\text{C}$) моделировали помещением в холодильник («Бирюса», Россия), высокой ($t = 40 \pm 2^\circ\text{C}$) в течении 30 минут – в прогретом термостате (ТВ-20-ПЗ-«К», Россия). Семена третьей опытной партии проращивали при обычной температуре ($t = 22 \pm 2^\circ\text{C}$). Подсчет семян с ростками от 1 см проводили на третьи сутки.

Для оценки потребления воды (WU , %), удержания влаги (A , %) и потери влаги (D , %) использовали следующие формулы [10]:

$$WU = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\%, \quad (7)$$

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_1} \cdot 100\%, \quad (8)$$

$$D = \frac{m_3 - m_2}{m_2} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где m_1 – масса сухих семян, г; m_2 – масса влажных семян, г; m_3 – масса семян после воздействия $t = 40 \pm 2^\circ\text{C}$, г.

Параллельно изучали и другие аспекты воздействия ИМП на прорастающие семена [11].

Результаты и обсуждение. После воздействия ИМП с индукциями в диапазоне $B_{ср}$ (0,53...5,21 Тл) лабораторная всхожесть (x) семян не изменялась и оставалась на уровне контроля у всех сортов (табл. 2). При этом отмечено увеличение по отношению к контролю энергии прорастания (E_{24}) семян в 1,2...1,5 раза у сорта Тулайковская надежда и в 1,6 раза у сорта Интеграция после воздействия ИМП индукцией $B_{ср} = 3,71$ Тл. Повышение энергии прорастания (E_{120}) семян сорта Скирда в 1,1...1,2 раза, в сравнении с контролем, установлено после воздействия ИМП с индукциями $B_{ср} = 0,53$ Тл и $B_{ср} = 5,21$ Тл.

После воздействия ИМП в диапазоне индукций $B_{ср} = 0,53...5,21$ Тл сила роста (F) у сорта Тулайковская надежда повышалась, по отношению к контролю, в 6...7 раз, индекс жизнеспособности (I) – в 3,1...3,4 раза. Кроме того,

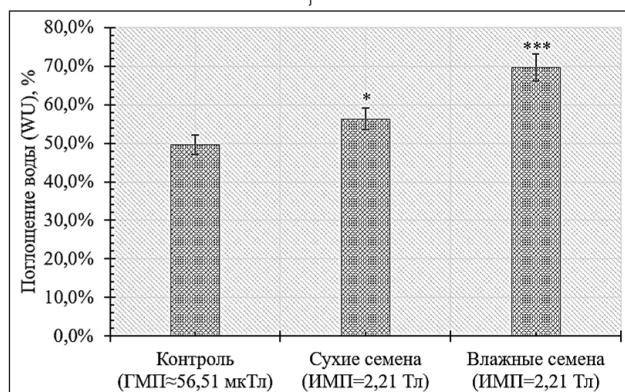


Рис. 2. Поглощение воды прорастающими семенами после воздействия ИМП индукцией $B_{ср} = 2,21$ Тл.

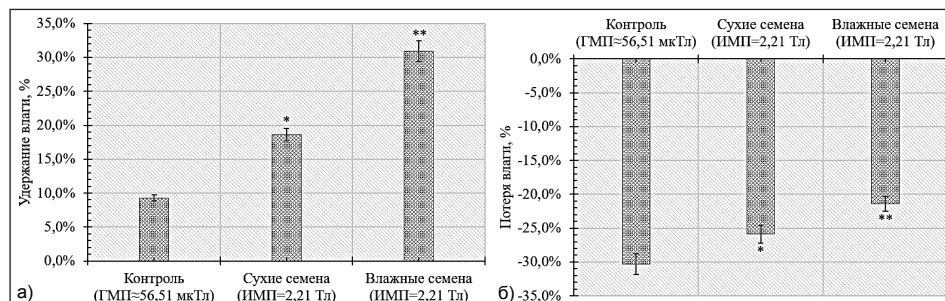


Рис. 3. Удержание (а) и потеря влаги (б) прорастающими семенами после воздействия ИМП индукцией $B_{cp} = 2,21$ Тл (**здесь и на рис. 4 различия с контролем достоверны при $p < 0,01$).

после воздействия ИМП в более узком диапазоне индукций $B_{cp} = 2,21 \dots 5,21$ Тл на семена сорта Интеграция сила роста (F) увеличивалась в 2,4...2,5 раза, а индекс жизнеспособности (I_j) – в 1,1...1,6 раза. Для сорта пшеницы Скирда отмечено увеличение индекса жизнеспособности (I_j), по отношению к контролю, в 1,4 раза при воздействии ИМП индукцией $B_{cp} = 5,21$ Тл.

После воздействия ИМП индукцией $B_{cp} = 2,21$ Тл на сухие и замоченные (влажные) семена поглощение воды (WU) через сутки после воздействия увеличивается, по сравнению с контролем (рис. 2), соответственно в 1,1 раза ($p < 0,05$) и 1,4 раза ($p < 0,001$).

Также отмечено, что после воздействия ИМП улучшает способность прорастающих семян удерживать, и терять влагу (рис. 3).

Удержание влаги прорастающими семенами после 30 мин воздействия температуры 40 ± 2 °C при их предварительной обработке ИМП в сухом виде возрастает, по сравнению с контролем, в 2 раза ($p < 0,05$), в варианте с обработкой замоченных (влажных) семян – в 3,3 раза ($p < 0,01$) (рис. 3а). Одновременно потеря влаги прорастающими семенами уменьшается соответственно в 1,2 раза ($p < 0,05$) и 1,4 раза ($p < 0,01$) (рис 3б).

После воздействия ИМП индукцией $B_{cp} = 2,21$ Тл на сухие и замоченные (влажные) семена, энергия прорастания через 72 ч при $t = 22 \pm 2$ °C и после влияния высокотемпе-

ратурного стресса (40 ± 2 °C) не изменяется и остается на уровне контроля (рис. 4). При воздействии низкой температуры (низкотемпературный стресс) 10 ± 2 °C после предварительной обработки сухих семян она увеличивается в 1,4 раза ($p < 0,01$), замоченных (влажных) – в 1,5 раза ($p < 0,01$), по отношению к контролю (рис. 4б).

В целом отмечено положительное воздействие ИМП на семена пшеницы, что особенно выразилось в увеличении энергии прорастания, силы роста, индекса жизнеспособности и поглощения воды прорастающими семенами. Положительное влияние воздействия ИМП на способность прорастающих семян удерживать влагу, снижать ее потери и сохранять энергию прорастания при низкотемпературном стрессе отмечали и другие авторы [12, 13, 14]. Результаты экспериментов сопоставимы с данными, отраженными в литературных источниках и работах, посвященных действию постоянных и переменных магнитных полей [15, 16].

Выводы. Воздействие ИМП в диапазоне индукций от 0,53 до 5,21 Тл улучшает показатели энергии прорастания через 24 и 120 ч, силы роста и индекса жизнеспособности пшеницы мягкой. Ответные реакции на воздействие ИМП для разных сортов пшеницы не одинаковы. У сорта Тулайковская надежда энергия прорастания возрастает (через 24 ч), по сравнению с контролем, в 1,2...1,5 раза ($p < 0,001$), сила роста – в 6...7 раз ($p < 0,001$), индекс жизнеспособности – в 3,1...3,4 раза ($p < 0,001$).

Увеличение поглощения воды семенами, обработанными ИМП индукцией $B_{cp} = 2,21$ Тл, по сравнению с контролем, составляет от 1,1 ($p < 0,05$) до 1,4 раза ($p < 0,001$).

При высокотемпературном стрессе ($t = 40 \pm 2$ °C) обработка семян ИМП повышает удержание влаги, по сравнению с контролем, от 2 ($p < 0,05$) до 3,3 раза ($p < 0,01$) и снижает ее потери – от 1,2 ($p < 0,05$) до 1,4 раза ($p < 0,01$).

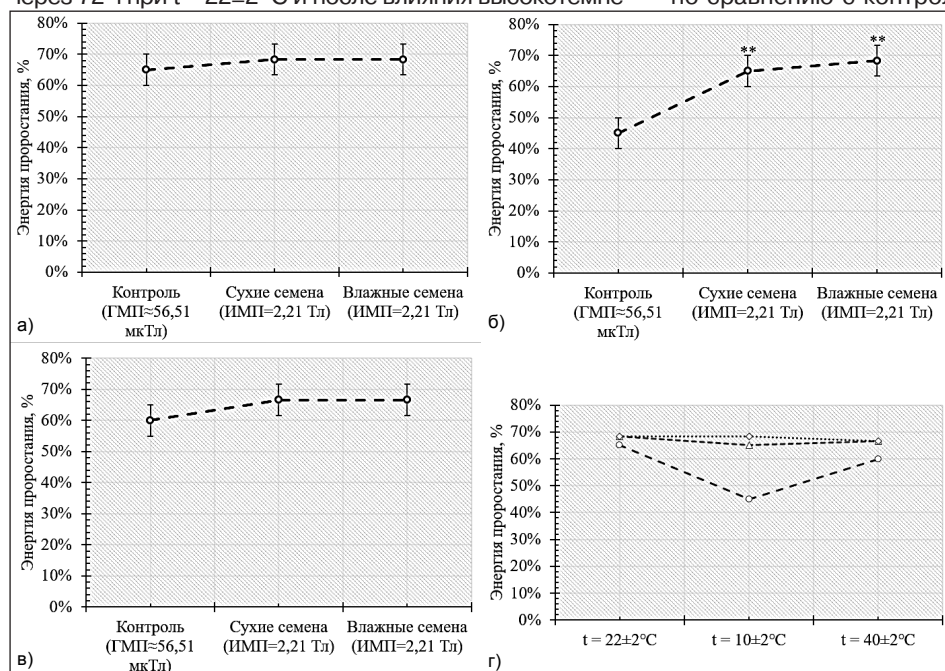


Рис. 4. Влияние воздействия ИМП индукцией $B_{cp} = 2,21$ Тл на устойчивость прорастающих семян к абиотическому стрессу с сохранением энергии прорастания: а) контроль ($t = 22 \pm 2$ °C); б) низкая температура ($t = 10 \pm 2$ °C); в) высокая температура ($t = 40 \pm 2$ °C); г) изменение энергии прорастания в зависимости от действующей температуры: —○— контроль (ГМП≈56,51 мкТл), ---△--- сухие семена (ИМП=2,21 Тл),□..... влажные семена (ИМП=2,21 Тл).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа финансировалась за счет средств бюджетов Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук и Самарского НИИСХ им. Н. М. Тулайкова – филиала СамНЦ РАН. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Волхонков М. С., Мамаева И. А., Беляков М. М. Классификация и определение эффективности известных способов предпосевной обработки семян // Технологии и средства механизации сельского хозяйства. 2022. № 8 (135). С. 7–19.
2. Teixeira da Silva J. A., Dobranszki J. Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? // Protoplasma. 2016. Vol. 253. P. 231–248.
3. О влиянии постоянного магнитного поля на всхожесть семян яровой пшеницы сорта Лукамеро / И. В. Иванов, Л. А. Соколова, А. Р. Рыбочкин и др. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2022. № 5. С. 70–76.
4. Inducing salt tolerance in sweet corn by magnetic priming / S. Karimi, S. Eshghi, S. Karimi, et al. // Acta Agriculturae Slovenica. 2017. Vol. 109. No. 1. P. 89–102.
5. Козырский В. В., Савченко В. В., Синявский А. Ю. Предпосевная обработка семян зернобобовых культур в магнитном поле // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. № 1 (13). С. 21–26.
6. Магнитно-импульсная обработка семян земляники садовой / А. И. Куртырëв, Д. О. Хорт, Р. А. Филиппов и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 5. С. 9–15.
7. Посевные качества семян мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при разных режимах воздействия низкочастотным электромагнитным полем / Н. С. Левина, Ю. В. Тертышная, И. А. Бидей и др. // Сельскохозяйственная биология. 2017. № 3 (52). С. 580–587.
8. Установка для магнитно-импульсной обработки медико-биологических объектов / Н. А. Роденко, Р. Ю. Юсупов, А. В. Милехин и др. // Патент РФ № 213806 U1, 29.09.2022.
9. Юсупов Р. Ю., Глущенков В. А., Маслов А. Н. Многофункциональная магнитно импульсная установка с изменяемой формой и параметрами разрядного тока // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2022. № 3 (24). С. 85–92.
10. Bhardwaj J., Anand A., Nagarajan S. Biochemical and biophysical changes associated with magnetopriming in germinating cucumber seeds // Plant Physiology and Biochemistry. 2012. Vol. 57. P. 67–73.
11. Change in the growth parameters of soft wheat *Triticum aestivum* (L.) after pretreatment of seeds with a pulsed magnetic field / N. A. Rodenko, O. V. Blednykh, V. A. Glushchenkov, et al. // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 139. Article 01002. URL: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2024/58/bioconf_agriscience2024_01002/bioconf_agriscience2024_01002.html (дата обращения: 16.11.2024).
12. Предпосевная обработка семян подсолнечника, сои и кукурузы низкочастотным электромагнитным излучением / Н. С. Левина, Ю. В. Тертышная, И. А. Бидей и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. № 4 (12). С. 22–28.
13. Rifna E. J., Ratish Ramanan K., Mahendran R. Emerging technology applications for improving seed germination // Trends in Food Science & Technology. 2019. Vol. 86. P. 95–108.
14. Effect of electromagnetic stimulation of amaranth seeds of different initial moisture on the germination parameters and photosynthetic pigments content / K. Komarzynski, A. Dziwulska-Hunek, A. Komarzynska-Gregorowicz, et al. // Scientific Reports. 2018. Vol. 1. No. 8. P. 1–12. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-32305-5> (дата обращения: 12.10.2024).
15. Katarina S., Baghel L., Guruprasad K. N. Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean // Biocatalysis and Agricultural. 2017. Vol. 10. P. 83–90.
16. Слепцов И. В., Шашурин М. М., Журавская А. Н. Кратковременное воздействие постоянного магнитного поля на физиологические, морфологические и биохимические характеристики проростков *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugose* и *Thlaspi arvense* // Физиология растений. 2019. № 1 (66). С. 66–72.

References

1. Volkhonov MS, Mamaeva IA, Belyakov MM. [Classification and determination of the effectiveness of known methods of pre-sowing seed treatment]. *Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii sel'skogo khozyaistva*. 2022;(8):7-19. Russian.
2. Teixeira da Silva JA, Dobranszki J. Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? *Protoplasma*. 2016;253:231-48.
3. Ivanov IV, Sokolova LA, Rybochkin AR, et al. [On the influence of a constant magnetic field on the germination of spring wheat seeds of Licamero variety]. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2022;(5):70-6. Russian.
4. Karimi S, Eshghi S, Karimi S, et al. Inducing salt tolerance in sweet corn by magnetic priming. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2017;109(1):89-102.
5. Kozyrskii VV, Savchenko VV, Sinyavskii AYU. [Pre-sowing treatment of leguminous crop seeds in a magnetic field]. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019;(1):21-6. Russian.
6. Kurtyrev AI, Khort DO, Filippov RA, et al. [Magnetic pulse treatment of garden strawberry seeds]. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017;(5):9-15. Russian.
7. Levina NS, Tertyshnaya YuV, Bidei IA, et al. [Sowing qualities of common spring wheat seeds (*Triticum aestivum* L.) under different modes of exposure to a low-frequency electromagnetic field]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiia*. 2017;(3):580-7. Russian.
8. Rodenko NA, Yusupov RYu, Milekhin AV, et al. Ustanovka dlya magnitno-impul'snoi obrabotki mediko-biologicheskikh ob'ektov [Equipment for magnetic-pulse treatment of medical and biological objects]. Russian Federation patent RU 213806 U1. 2022 Sep 29. Russian.
9. Yusupov RYu, Glushchenkov VA, Maslov AN. [Multifunctional magnetic pulse installation with variable shape and parameters of discharge current]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2022;(3):85-92. Russian.
10. Bhardwaj J, Anand A, Nagarajan S. Biochemical and biophysical changes associated with magnetopriming in germinating cucumber seeds. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2012;57:67-73.
11. Rodenko NA, Blednykh OV, Glushchenkov VA, et al. Change in the growth parameters of soft wheat *Triticum aestivum* (L.) after pretreatment of seeds with a pulsed magnetic field. *BIO Web of Conferences* [Internet]. 2024 [cited 2024 Nov 16];139: Article 01002. Available from: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2024/58/bioconf_agriscience2024_01002/bioconf_agriscience2024_01002.html.
12. Levina NS, Tertyshnaya YuV, Bidei IA, et al. [Pre-sowing treatment of sunflower, soybean and corn seeds with low-frequency electromagnetic radiation]. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018;(4):22-8. Russian.
13. Rifna EJ, Ratish Ramanan K, Mahendran R. Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends in Food Science & Technology*. 2019;86:95-108.
14. Komarzynski K, Dziwulska-Hunek A, Komarzynska-Gregorowicz A, et al. Effect of electromagnetic stimulation of amaranth seeds of different initial moisture on the germination parameters and photosynthetic pigments content. *Scientific Reports* [Internet]. 2018 [cited 2024 Oct 12];1(8):1-12. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-32305-5>.
15. Katarina S, Baghel L, Guruprasad KN. Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. *Biocatalysis and Agricultural*. 2017;10:83-90.
16. Sleptsov IV, Shashurin MM, Zhuravskaya AN. [Short-term effects of constant magnetic field on physiological, morphological and biochemical characteristics of *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugose* and *Thlaspi arvense* seedlings]. *Fiziologiya rastenii*. 2019;(1):66-72. Russian.

Поступила в редакцию 29.10.2024 После доработки 03.12.2024 Принята к публикации 18.12.2024