

16. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Часть I. Пестициды. Официальное издание. – М.: Минсельхоз России, 2023. – 889 с.

17. Гладышева О.В., Барковская Т.А. Яровая мягкая пшеница Рима / О.В. Гладышева, Т.А. Барковская // Вестник Российской сельскохозяйственной науки – 2016. – №5. – С.42-43.

18. Сычев В.Г., Шаповал О.А., Можарова И.П. и др. Руководство по проведению регистрационных испытаний регуляторов роста растений, дефолиантов и десикантов в сельском хозяйстве: производственно-

практи. издание. / В.Г. Сычев, О.А. Шаповал, И.П. Можарова, Т.М. Веревкина, М.Т. Мухина, А.А. Коршунов, А.С. Лазарева, Т.Ю. Грабовская, Е.Л. Вережкин. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 216 с.

19. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Зерновые, крупяные, зернобобовые и кормовые культуры. Вып.2. – М., 1989. – 194 с.

20. Погода в мире. [Электронный ресурс]//Архив погоды в Немчиновке [Официальный сайт]. Режим доступа: [https://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Немчиновке](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Немчиновке) – Заглавие с экрана. – (дата обращения: 01.07.2023).

## THE EFFECTIVENESS OF RETARDANTS BASED ON CHLORMEQUAT CHLORIDE AND TRINEXAPAC-ETHYL IN SPRING WHEAT CROPS

I.P. Mozharova, Ph. D., M.T. Mukhina, Ph. D., M.A. Volkova, T.Y. Voznesenskaya

All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after

D.N. Pryanishnikov, Pryanishnikov str., 31a, Moscow, 127434, Russia, e-mail: [marina.volkova.2012@mail.ru](mailto:marina.volkova.2012@mail.ru)

The results of field experiments conducted in a non-Chernozem zone on sod-podzolic soil in order to assess the effectiveness of the use of various forms of retardants based on chlormequat chloride and trinexapac-ethyl in spring wheat crops are presented. It was found that the combined preparation Emmer, containing chlormequat chloride and trenxapac-ethyl, regardless of the moisture content of wheat plants, effectively reduces the height of wheat plants compared to single-component preparations Moddus and Centrino, and also has a positive effect on the formation of the crop. Depending on weather conditions, the Emmer morphoregulator contributed to an increase in the yield of spring wheat by 4.2-14.0% and was not inferior in its effectiveness to single-component plant growth regulators.

Keywords: spring wheat, lodging, retardants, chlormequat chloride, trinexapac-ethyl, plant height, lodging resistance, yield.

УДК 631.81.036

DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.26

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛИСИТОРА SF-40 НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Л.В. Осипова<sup>1</sup>, д.б.н., И.А. Быковская<sup>1</sup>, Д.С. Хачатрян<sup>2</sup>, к.х.н.

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»)

127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 31А; E-mail: [legos4@yandex.ru](mailto:legos4@yandex.ru)

<sup>2</sup>Научно-исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт») 107076, Россия, г. Москва, Богородский Вал, д.3

Представлены результаты исследований по изучению действия разных концентраций элиситора Sf-40, как вещества, оказывающего протекторное действие на физиолого-биохимические показатели проростков пшеницы в условиях водного стресса при разных способах обработки им растений. Установлено, что различные приемы обработки элиситором способствуют повышению устойчивости растений к стрессовому воздействию, а защитное действие элиситора зависит от его концентрации. Оптимальной концентрацией элиситора Sf-40 при предпосевной обработке семенного материала является 0,1 мМ, при фолитарной обработке и оценке последствий препарата – концентрация 0,01 мМ.

Ключевые слова: элиситор, пшеница, водный стресс.

Для цитирования: Осипова Л.В., Быковская И.А., Хачатрян Д.С. Влияние различных способов применения элиситора SF-40 на физиологические маркеры устойчивости яровой пшеницы // Плодородие. – 2023. – №5. – С. 103-106. DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.26.

Современные глобальные изменения климата оказали значительное влияние на увеличение природных аномалий и повышение рисков для продовольственной безопасности страны, что привело к необходимости поиска агрохимических средств, снижающих негативное влияние неблагоприятных факторов среды. Повышение устойчивости полевых культур, наряду с подходами классической селекции и генной инженерии, решается путем применения биогенных и синтетических соединений, которыми обрабатывают семена до посева и проводят подкормки в течение вегетации.

В качестве экологически безопасных и эффективных препаратов широко используют элиситоры различной

природы: экзогенные, чужеродные для растений вещества и эндогенные, собственные соединения растений. Элиситорные свойства соединений разной природы – углеводов, липидов, протеинов и других, имеющих различные источники происхождения, заключаются в их способности стимулировать запуск механизмов антиоксидантной защиты, тем самым повышая устойчивость к стрессовым воздействиям [1, 2].

Преимущество элиситоров обусловлено тем, что их применяют в низких концентрациях, они не обладают биоцидным действием, не загрязняют окружающую среду и безопасны для человека и животных [3-5].

Механизм действия эндогенных соединений, к которым относятся многие гормоны и вторичные метаболиты, изучают давно, особенно по отношению устойчивости растений к болезням.

Действие препаратов нового поколения, микробиологических и химически синтезированных, которые используются для снижения негативного влияния гербицидов и абиотических стрессов изучено недостаточно.

**Цель нашей работы** – изучить влияние различных концентраций и способов применения синтетического элиситора Sf-40 на морфофизиологические параметры, характеризующие рост и устойчивость растений к абиотическому стрессу.

**Методика.** В серии лабораторных опытов изучали действие и последствие элиситора Sf-40, синтетического аналога природного соединения – ингибитора образования нейроэндокринных опухолей, синтезированного в Институте реактивов и особо чистых веществ, НИЦ «Курчатовский институт». Объектом исследования служила яровая пшеница сорта Тризо, включенного в Госреестр селекционных достижений в 2004 г. Сорт среднеспелый, разновидность лютеценс, максимальная урожайность в испытаниях 9 т/га.

Изучали влияние растворов образца Sf-40, полученного с использованием научного оборудования ЦКП «Исследовательский химико-аналитический центр НИЦ «Курчатовский институт», в трех концентрациях: 0,01 мМ; 0,1 мМ; 0,8 мМ, при следующих способах обработки – предпосевная обработка семян, фолиарная обработка проростков, выращивание на растворе элиситора.

Предобработку семян проводили различными концентрациями элиситора, моделируя физиологическую засуху на третий день культивирования.

Фолиарное воздействие, препарата определяли на 7-дневных проростках, культивированных в течении пяти дней на воде (контроль) и растворе сахарозы (3,8 атм.) и обработанных препаратом до полного смачивания вегетативной поверхности проростков. Воздействие препарата на физиологический статус проростков оценивали через 2 сут после обработки.

Эксперименты проводили в рулонной культуре (ГОСТ 120038-84) в климатической термокамере, при поддержании постоянной температуры 18-20 °С и влажности воздуха 60-70%, в нормальном режиме среды культивирования и при действии стресса, индуцированного осмотическим раствором сахарозы. После 7-суточной экспозиции проростки переносили на световую площадку на 45 мин, затем определяли физиологический статус растений, содержание фотосинтетических пигментов и малонового диальдегида (МДА), характеризующего интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) мембран. Физиолого-биохимические параметры растений в критический период деэтиоляции, перехода от роста в темноте к росту на свету, свидетельствуют о стрессоустойчивости и определяют дальнейшую стратегию формирования продуктивности в онтогенезе пшеницы.

Содержание МДА – конечного продукта свободнорадикального окисления полиненасыщенных высших жирных кислот, входящих в состав фосфолипидов мембран, устанавливали спектрометрическим методом по реакции с тиобарбитуровой кислотой [6].

Фотосинтетические пигменты определяли на спектрофотометре Helios Omega UV-VIS при длинах волн: 665, 643 и 440,5 нм, для установления и оценки содержания хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов [6].

О влиянии элиситора на ростовую функцию судили по изменению длины ростка и определяли относительную скорость роста.

Депрессию роста первичных корешков и проростков при проращивании на осмотике в условиях стресса рассчитывали по отношению к контролю без стресса.

Повторность опытов четырехкратная, данные на рисунках и в таблицах представлены в виде средних, оценка достоверности различий устанавливалась по *t*-критерию Стьюдента [7].

**Результаты и их обсуждение.** Предпосевная обработка семян (ПОС) элиситором Sf-40 не повлияла на всхожесть и энергию прорастания яровой пшеницы, но оказывала стимулирующее действие на рост первичной корневой системы во всех изучаемых вариантах концентрации. Значимое влияние на длину ростка наблюдалось при концентрации 0,01 мМ. Более высокие концентрации препарата 0,1 и 0,8 мМ не повлияли на линейные размеры ростка.

При культивировании проростков на осмотически активном растворе сахарозы, имитирующем засуху, отмечали снижение интенсивности ростовых процессов и торможение роста корней и ростков. ПОС элиситором, снижала негативное действие стрессора при всех изучаемых концентрациях препарата, но в большей степени при концентрации 0,1 мМ (табл. 1).

**1. Влияние предпосевной обработки семян элиситором Sf-40 на ростовые параметры растений**

Вариант ПОС	Длина, см					
	ростка			корня		
	орт.	стресс	депрессия, % от орт	орт.	стресс	депрессия, % от орт
Контроль (без обработки)	5,48	1,66	69,7	8,78	5,01	22,9
0,01 мМ	6,05	2,03	66,4	9,77	6,79	30,5
0,1 мМ	5,49	5,06	7,8	9,89	7,99	19,2
0,8 мМ	5,31	4,55	14,3	10,1	8,3	17,8

В условиях осмотического стресса элиситор оказывал протекторное действие на ростовую функцию растений. Депрессия роста надземной части отмечалась только при низкой концентрации препарата.

При действии стресса рост корневой системы был заторможен на контроле. На растения, выращенные из обработанных семян, осмотический стресс повлиял в меньшей степени.

К настоящему времени установлены неспецифические физиолого-биохимические ответы растений на неблагоприятные воздействия – это увеличение окислительных процессов из-за повышенной генерации активных форм кислорода и повышения содержания МДА, продукта перекисного окисления липидов мембран [8]. Одна из причин изменения ростовых показателей – накопление малонового диальдегида (МДА), маркера окислительного стресса (табл. 2).

**2. Содержание МДА в проростках пшеницы, мкМ/г**

Вариант	Росток		Корень	
	орт.	стресс	орт.	стресс
Контроль (б/о)	1,15	2,79	2,62	4,23
0,01 мМ	0,96	2,33	2,04	3,41
0,1 мМ	1,21	1,18	2,41	3,05
0,8 мМ	1,34	2,11	2,35	2,95

Растения анализируемых вариантов различались по накоплению МДА в надземной части и в корнях, где его содержание было приблизительно в 2 раза больше. Под

воздействием элиситора напряженность окислительного стресса в проростках снижалась при применении всех концентраций препаратов. Наиболее оптимальным оказался вариант, в котором растения обрабатывали препаратом с концентрацией 0,1 мМ. При больших размерах проростка торможение ростовых функций и их депрессия при стрессовом воздействии были выражены меньше, что обусловлено меньшей интенсивностью окислительных процессов.

При оценке влияния foliarной обработки элиситором на физиолого-биохимические показатели оказалось, что реакция надземной части проростка и корневой системы существенно различалась и зависела от концентрации Sf-40.

Foliarная обработка незначительно повлияла на ростовую функцию ростка, увеличив его линейные размеры роста на 10,4% при концентрации элиситора 0,01 мМ и не изменив их при концентрации 0,1 и 0,8 мМ, однако затормозило рост первичных корешков на 26,5; 42,6; 52,8 %, при концентрациях элиситора 0,01; 0,1; 0,8 мМ соответственно (рис.).

Подобный ответ растений на некорневое воздействие обусловлен взаимодействием побеговой и корневой систем в результате дальнего транспорта регуляторных молекул, передающих информацию от листа к корню. Наличие таких молекул было предсказано, а позже доказано [9, 10]. Роль сигнальных молекул выполняют мобильные пептиды, состоящие из 12-15 аминокислот, ко-

торые могут действовать на месте синтеза или транспортироваться в другие органы, изменяя метаболизм и интенсивность ростовых процессов.

При культивировании проростков после некорневой обработки элиситором на осмотическом растворе, имитирующем засуху, ростовые процессы были заторможены.

Применение элиситора во всех изучаемых концентрациях снижало ингибирование роста корешков и ростка по сравнению с необработанным контролем, депрессия роста у которого составила 88,3 и 66,2 % соответственно, что свидетельствует о протекторных свойствах всех концентраций элиситора (табл. 3).

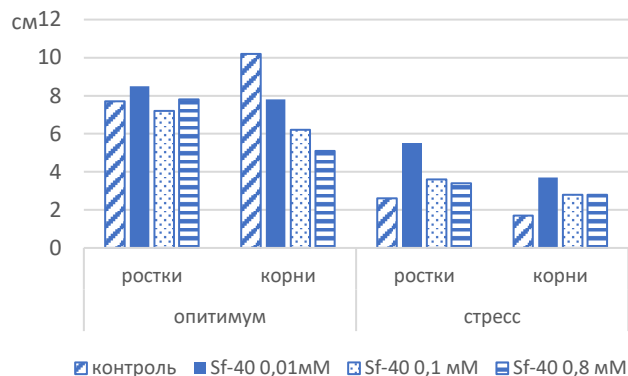


Рис. Влияние концентрации элиситора на параметры роста пшеницы в нормальных условиях культивирования и при действии стресса

### 3. Влияние концентрации элиситора на параметры роста растений

Показатель	Длина ростков, см				Длина корней, см			
	контроль	Концентрация Sf-40, мМ			контроль	Концентрация Sf-40, мМ		
		0,01	0,1	0,8		0,01	0,1	0,8
Оптимум	7,7	7,2	8,5	7,8	10,8	7,9	6,2	5,1
Стресс	2,6	5,5	3,6	3,4	1,7	3,7	2,8	2,4
Снижение от оптимума, %	66,2	23,5	57,6	57,6	88,3	53,2	54,8	56,6

Депрессия роста зависела от концентрации препарата. В меньшей степени торможение роста ростков было выражено при концентрации элиситора 0,01 мМ и составило 23,5% по сравнению с аналогичным поливным вариантом.

При изучении влияния количественного содержания элиситора установлено, что с увеличением концентрации элиситора возрастало содержание МДА в ростках и корнях растений, характеризующее напряженность окислительного стресса. Прямой зависимости между накоплением МДА и линейными размерами проростков не прослеживалось.

Экспериментальные данные, полученные многочисленными исследователями за последнее десятилетие,

свидетельствуют о традиционном повышении содержания определённых сигнальных молекул, в том числе активных форм кислорода, приводящем к усилению ПОЛ при действии стрессоров различной природы. Как видно из данных, приведенных в таблице 4, применение элиситора во всех концентрациях снижает негативное стрессовое воздействие, о чем свидетельствуют меньшие значения этого параметра по сравнению с необработанным контролем. Различия по содержанию МДА в изученных вариантах концентраций связаны, вероятно, с различной активностью антиоксидантной системы.

### 4. Влияние элиситора Sf-40 на параметры физиолого-биохимического статуса пшеницы при осмотическом стрессе

Вариант обработки	Ростки						Корни			
	длина		МДА		пигменты, мг/г сыр. массы		длина		МДА	
	см	% к контролю	мМ	% к контролю	каротиноиды	Σхл а и хл в	см	% к контролю	мМ	% к контролю
Контроль (б/о)	2,6	100	2,15	100	4,49	1,1	1,7	100	5,38	100
0,01 мМ	5,5	110	0,77	-64	7,85	1,8	3,7	117	0,64	-88
0,1 мМ	3,6	38	1,4	-34	7,30	2,0	2,9	70	2,31	-57
0,8 мМ	3,4	31	1,28	-40	5,33	1,4	2,4	41	2,0	-63

При изучении состояния пигментной системы растений пшеницы в условиях осмотического стресса показано достоверное увеличение содержания фотосинтетических пигментов, каротиноидов и хлорофиллов, при применении исследуемых концентраций элиситора.

Таким образом, foliarная обработка проростков пшеницы элиситором Sf-40 в оптимальных условиях

культивирования привела к торможению роста корневой системы, а при действии осмотического стресса оказывала протекторное действие на ростовую функцию, сохраняя активность роста надземной части и корней.

При оценке действия различных концентраций элиситора лучшей оказалась концентрация 0,01 мМ по сравнению с образцами 0,1 и 0,8 мМ, так как в нормальных

условиях культивирования она в меньшей степени тормозила рост корневой системы, а при действии абиотического стресса оказывала протекторное влияние на ростовую функцию проростка, уменьшала ПОЛ и увеличивала синтез пигментов.

Для оценки физиологического воздействия элиситора зерновки пшеницы проращивали на растворах препарата с возрастающей концентрацией. Проросшие семена на 4 суток помещали на водный раствор осмотика. Как показали проведенные эксперименты, препарат не влиял на всхожесть. Ответная реакция растений заключалась в снижении скорости роста первичных корешков на 10,2-10,6% при всех концентрациях элиситора и торможении роста надземной части проростка на 51,2-58,1% в сравнении с контролем – без элиситора (табл. 5).

**5. Действие и последствие различных концентраций элиситора Sf-40 на ростовые показатели**

Вариант	Снижение роста к контролю, %		Относительная скорость роста после перестановки			
			на воду		на раствор осмотика	
	ростки	корни	ростки	корни	ростки	корни
Контроль (б/о)	100	100	0,298	0,135		
0,01 мМ	58,1	10,6	0,104	0,096	0,98	0
0,1 мМ	44,8	12,3	0,058	0,053	0,039	0
0,8 мМ	51,2	10,2	0,085	0,023	0,059	0

В отличие от foliarной обработки, когда растения реагировали на элиситор уменьшением роста корней, при контакте корневой системы с препаратом в большей степени тормозится рост надземной части проростка.

При непосредственном контакте с элиситором изменения ростовых функций происходили у другой части растений: если обрабатывают лист тормозится рост корня, при контакте корневой системы с препаратом замедляется рост надземной части растения.

По литературным данным [11,12], взаимодействие надземной и корневой систем растения, через посредничество сигнальных молекул, приводит к изменению содержания цитокинов и абсцизовой кислоты в соответствующих органах растений, что определяет интенсивность их роста.

Определение активности ростовых процессов после перестановки растений с раствора элиситора на воду выявило значительные различия изучаемых концентраций Sf-40. Наибольшая относительная скорость роста, оцениваемая, как величина прироста в сутки на единицу уже существующей массы, оказалась при самой низкой концентрации элиситора – 0,01 мМ (см. табл. 5).

При переносе растений с раствора элиситора на осмотически активный раствор сахарозы, рост корней останавливался, а росток продолжал развиваться, наибольшая активность отмечалась у растений, ранее культивированных на растворе элиситора с концентрацией 0,01 мМ.

Необходимо отметить, что, в отличие от элиситора, действие осмотического раствора прямо направлено на конкурирующие с ним органы. Таким образом, при культивировании растений на растворах элиситора тормозится ростовая функция надземной части проростков, в большей степени, чем корней. Репарационные способности более выражены у проростков, выращенных при самой низкой концентрации элиситора – 0,01 мМ.

**Выводы.** Все изученные способы применения элиситора Sf-40 повышали устойчивость растений к осмотическому стрессу на первых этапах вегетации. Оптимальной концентрацией элиситора Sf-40 при предпосевной обработке семенного материала является 0,1 мМ, при foliarной обработке и оценке последствия препарата 0,01 мМ.

#### Литература

1. Bartels S., Boller T. Quo vadis, Pep? Plant elicitor peptides at the crossroads of immunity, stress, and development//*Journal of Experimental Botany*, Volume 66, Issue 17, August 2015, Pages 5183–5193
2. Jones J.P.G., Dangl J.L. The plant immune system//*Nature* volume. 2006. Vol. 444, pages 323–329.
3. Соколов Ю.А. Элиситоры и их применение в растениеводстве. – Минск: Белорусская наука, 2006. – 203 с.
4. Yamaguchi Y., Huffaker A. Endogenous peptide elicitors in higher plants// *Current opinion in plant biology*. 2011 Vol. 14, N 4, p. 351-357. doi: 10.1016/j.pbi.2011.05.001.
5. Тютев С.Л. Экологически безопасные индукторы устойчивости растений к болезням и физиологическим стрессам// *Вестник защиты растений*. – 2015. - № 1(83). – С. 3-13.
6. Быковская И.А., Осипова Л.В. Влияние нового полиэлементного агрохимиката на рост и устойчивость яровой пшеницы и гороха на первых этапах развития// *Международный сельскохозяйственный журнал*. - 2023. - № 1 (391). - С. 53-57.
7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Учебники и учеб. пособия для высш. учеб. заведений. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
8. Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений. Учебное пособие студентов биологических факультетов вузов. – СПб.: СПбГУ, 2002. – 244 с.
9. Oh E., Seo P.J., Kim J. Signaling peptides and receptors coordinating plant root development// *Trends Plant Sci*. 2018 Vol. 23, N 4, p. 337-351. doi: 10.1016/j.tplants.2017.12.007.
10. Delves A.C. et al. Regulation of the soybean-Rhizobium nodule symbiosis by shoot and root factors// *Plant Physiol*. 1986. Vol.82, N 4, p. 588-90. doi: 10.1104/pp.82.2.588.
11. Davies W.J. et al. Long-distance ABA Signaling and Its Relation to Other Signaling Pathways in the Detection of Soil Drying and the Mediation of the Plant's Response to Drought// *Journal of Plant Growth Regulation*. 2005. Vol. 24, p. 285–295.
12. Jeschke W.D., Hartung W. Root-shoot interactions in mineral nutrition//*Plant and Soil*. 200. Vol. 226, pages 57–69.

#### INFLUENCE OF DIFFERENT METHODS OF APPLICATION OF SF-40 ELISITOR ON PHYSIOLOGICAL MARKERS OF SPRING WHEAT RESISTANCE

L.V. Osipova<sup>1</sup>, I.A. Bykovskaya<sup>1</sup>, D.S. Khachatryan<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution

“All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov” (FGBNU “VNI Agrochemistry”)

127434, Russia, Moscow, st. Pryanishnikova, 31A; E-mail: [legos4@yandex.ru](mailto:legos4@yandex.ru)

<sup>2</sup> Research Center “Kurchatov Institute” (National Research Center “Kurchatov Institute”)

107076, Russia, Moscow, Bogorodsky Val, 3

The article presents the results of studies on the effect of different concentrations of the elicitor Sf-40 as a substance that has a protective effect on the physiological and biochemical parameters of wheat seedlings under conditions of water stress with different methods of treating plants with the elicitor. It has been established those various methods of treatment with an elicitor help to increase the resistance of plants to stress, and the protective effect of the elicitor depends on its concentration. The optimal concentration of the elicitor Sf-40 for pre-sowing treatment of seed material is 0.1 mM; for foliar treatment and evaluation of the aftereffect of the drug, the concentration is 0.01 mM.

Key words: elicitor, wheat, water stress.