



Научная статья

УДК 631.8

doi: 10.55186/25876740_2024_67_5_565

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИЙ СИНТЕТИЧЕСКОГО ЭЛИСИТОРА НА РОСТ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ПРИМЕНЕНИЯ

И.А. Быковская¹, Л.В. Осипова¹, К.Р. Матевосян², Д.С. Хачатрян³¹Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия²Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия³Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

Аннотация. В статье приведены результаты исследования элиситорной активности производных 2-арил-1,3-Л-тиазолин-4-карбоновой кислоты на физиолого-биохимический статус ростков пшеницы сорта Тризо. опыты проводили в 2021-2023 гг. в ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» совместно с Национальным исследовательским центром «Курчатовский институт». Схема опыта включала различные приемы воздействия на растения: предобработка семян (ПОС), фолиарная обработка (ФО) вегетирующих растений и оценка последствия модификаций элиситора — Sf-40, Sf-45, Sf-50, Sf-51, в концентрациях — 0,01; 0,1; 0,8 мМ. Физиолого-биохимический статус проростков оценивали по интенсивности перекисного окисления липидов мембран (ПОЛ), который определяли по накоплению малонового диальдегида (МДА) и фотосинтетических пигментов. Полученные данные свидетельствуют о положительном влиянии всех изученных в исследовании приемов обработки элиситором на устойчивость растений к осмотическому стрессу на первых этапах онтогенеза. Обработка семян растворами модификаций элиситора (Sf-40, Sf-45, Sf-50, Sf-51) в концентрациях — 0,01; 0,1; 0,8 мМ перед прорастиванием показала, что элиситор не увеличивает прирост ростков по сравнению с контрольным вариантом, но стимулирует линейные размеры корней на 10-12% всеми модификациями препарата. Исследование фолиарной обработки вегетирующих растений показала, что реакция роста и корневой системы проростков была различной и зависела от концентрации элиситоров. Оценка последствия модификаций элиситора, показала, что эта обработка тормозит ростовую функцию надземной части проростков, в большей степени, чем корней. Репарационные способности более выражены у проростков, выращенных при самой низкой концентрации элиситора — 0,01 мМ. Оптимальной концентрацией при предпосевной обработке семенного материала, является 0,1 мМ, при фолиарной обработке и оценке последствия препарата концентраций 0,01 мМ.

Ключевые слова: элиситор, пшеница, малоновый диальдегид, абиотический стресс

Original article

THE EFFECT OF SYNTHETIC ELICITOR MODIFICATIONS ON THE GROWTH AND STABILITY OF SPRING WHEAT IN VARIOUS APPLICATIONS

I.A. Bykovskaya¹, L.V. Osipova¹, K.R. Matevosyan², D.S. Khachatryan³¹All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia²Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia³National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia

Abstract. The article presents the results of a study of the elicitory activity of derivatives of 2-aryl-1,3-L-thiazoline-4-carboxylic acid on the physiological and biochemical status of wheat germ of the Trizo variety. The experiments were conducted in 2021-2023 at the Federal State Budgetary Scientific Institution «Research Institute of Agrochemistry» together with the National Research Center «Kurchatov Institute». The scheme of the experiment included various methods of exposure to plants: seed pretreatment (STP), foliar treatment (FO) of vegetative plants and evaluation of the aftereffect of the elicitor modifications — Sf-40, Sf-45, Sf-50, Sf-51, in concentrations — 0.01; 0.1; 0.8 mM. The physiological and biochemical status of seedlings was assessed by the intensity of membrane lipid peroxidation (POL), which was determined by the accumulation of malondialdehyde (MDA) and photosynthetic pigments. The data obtained indicate a positive effect of all the elicitor treatment techniques studied in the study on the resistance of plants to osmotic stress at the first stages of ontogenesis. Seed treatment with solutions of elicitor modifications (Sf-40, Sf-45, Sf-50, Sf-51) in concentrations — 0.01; 0.1; 0.8 mM before germination showed that the elicitor does not increase the growth of sprouts compared to the control variant, but stimulates the linear dimensions of the roots by 10-12% with all modifications of the drug. A study of foliar treatment of vegetative plants showed that the reaction of the sprout and the root system of seedlings was different and depended on the concentration of elicitors. Evaluation of the aftereffect of the elicitor modifications showed that this treatment inhibits the growth function of the aboveground part of the seedlings, to a greater extent than the roots. The reparative abilities are more pronounced in seedlings grown at the lowest concentration of the elicitor — 0.01 mM. The optimal concentration for pre-sowing treatment of seed material is 0.1 mM, for foliar treatment and evaluation of the aftereffect of the drug concentrations of 0.01 mM.

Keywords: elicitor, wheat, malondialdehyde, abiotic stress

Введение. Биосферные изменения за последние десятилетия привели к увеличению погодных аномалий и повышению климатических рисков для продовольственной безопасности страны [1,2]. В связи с этим интересы научного сообщества направлены на поиск веществ, способных снижать негативное влияние абиотических стрессов и повышать устойчивость зерновых культур.

Повышение устойчивости к стресс факторам различной природы решается наряду с подхо-

дами классической селекции и генной инженерии, путем применения различных биогенных и синтетических соединений, которыми обрабатывают семена до посева или проводят некорневые подкормки на отдельных этапах органогенеза. Предобработка семян и фолиарная обработка — распространенный прием в практике производства зерна, которые направлены на стимуляцию прорастания, равномерное развитие растений в агроценозе, что обеспечивает эффективное использование почвенной

влаги и солнечной энергии, активирует формирование фотосинтетического аппарата и начало фотосинтеза,

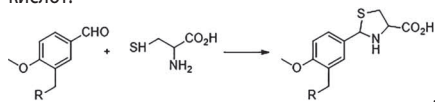
При поиске экологически безопасных и агрохимически эффективных препаратов, повышающих стрессоустойчивость яровых зерновых культур, широко применяются элиситоры, вещества активирующие у растений собственные защитные механизмы. Элиситоры применяются в низких концентрациях, не обладают биоцидным действием, не загрязняют окружающую

среду. Считается, что элиситоры воспринимаются растениями и являются триггером для активации синтеза эндогенных антиоксидантов и запуска протекторных механизмов [3-7].

В проведенных экспериментах изучали действие элиситоров синтетических аналогов природного соединения — ингибитора образования нейроэндокринных опухолей, синтезированных в ЦКП «Исследовательский химико-аналитический центр НИЦ «Курчатовский институт».

Основанием для изучения этих соединений явился постулат современной биохимии об общности всех живых организмов на молекулярном уровне, использовании одних и тех же метаболических путей для синтеза компонентов клетки, сходстве последовательностей генов и структуры белков (8).

Для исследования физиологических свойств элиситоров были синтезированы новые производные 2-арил-1,3-тиазолин-4-карбоновых кислот:



Цель работы заключалась в изучении влияния различных способов обработки и концентраций модификаций элиситора на физиологический статус проростков пшеницы, характеризующий их рост и устойчивость к осмотическому стрессу, индуцированному раствором сахарозы.

Методика исследований. Лабораторные опыты проводили с яровой пшеницей (*Triticum aestivum*) сорта Тризо.

Родословная сорта: Kadett x Weihenstephan Stamm. Включен в Госреестр в 2004 году. Разновидность лютеценс. Сорт среднеспелый с вегетационным периодом 85-90 дней. Куст промежуточной формы. Соломина с сильным восковым налетом на верхнем междоузлии. Колос пирамидальный, плотный, белый. Зерно окрашенное. Масса 1000 зерен 33-40 грамм. Средняя урожайность пшеницы Тризо 2,97 тонн с гектара.

Оценивали четыре образца представляющие собой сухие порошки или кристаллы: Sf-45, Sf-41, Sf-86, Sf-130 с молекулярным весом, г/ моль: 418,55; 392,43; 395,42; 343,83, соответственно.

Отмечено, что образцы растворимы в этаноле, водном растворе соды и диметилсульфоксиде. Согласно рекомендациям для приготовления растворов образцы растворяли в 0,8 мМ растворе соды. Однако в таком растворителе образцы Sf-86, Sf-130 образовывали мутный осадок и растворение было неполным. При использовании спирта в качестве растворителя оценивали его влияние на всхожесть семян.

Комбинированное применение элиситора и спирта не повлияло на всхожесть зерна ярового ячменя, однако стимулировало рост проростка на 15, 51,9, 100% при концентрациях Sf-45 — 0,01; 0,1 и 0,8%, соответственно. Поэтому от использования спирта в качестве растворителя отказались. Плохо растворимые образцы, Sf-86, Sf-130, были заменены на образцы: Sf-40, Sf-50 с молекулярным весом, г/ моль: 364,38; 309,77, соответственно.

В серии лабораторных опытов изучали влияние трех концентраций -0,01 мМ, 0,1 мМ, 0,8 мМ, каждого препарата — Sf-40, Sf-45, Sf-50, Sf-51 на физиологические показатели яровой пшеницы на первых этапах органогенеза. Оценивали влияние предобработки семян, фолиарное

воздействие и проращивание на среде культивирования с элиситором. Растения, выращивали в рулонной культуре (ГОСТ 120038-84) в климатической термокамере (при поддержании постоянной температуры и влажности воздуха) в оптимальных условиях в среде культивирования (7 суток) и при действии стресса, индуцированного осмотическим раствором сахарозы (2-е суток на воде, затем 5 суток на осмотике). Затем проростки переносили на световую площадку на 45 минут. При освещении проростка активируется процесс дестигмации, подавляется вытягивание побега, перестраивается гормональный статус, формируются фотосинтетически активные листья и начинается фотосинтез. Первый период развития растений является критическим и во многом определяет дальнейшую стратегию формирования продуктивности пшеницы.

Физиологический статус проростков оценивали по интенсивности перекисного окисления липидов мембран (ПОЛ) и активности синтеза фотосинтетических пигментов. Уровень окислительных процессов определяли по накоплению малонового диальдегида (МДА), содержание которого определяли по реакции с тиобарбитуровой кислотой. Содержание хлорофиллов а, в и каротиноидов определяли по Хальмену-Ветштейну в ацетоновой вытяжке спектрометрическим методом при длинах волн 662, 644, 440,5 нм. соответственно [9]. Определяли линейные размеры проростков и оценивали депрессию роста при осмотическом стрессе, индуцированном раствором сахарозы.

Предобработку семян проводили различными концентрациями элиситора.

Фолиарную обработку проводили путем опрыскивания проростка до полного увлажнения.

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 и/ или с применением элиситора.

Повторность опытов четырехкратная, данные на рисунках и таблицах представлены в виде средних, оценка достоверности различий устанавливалась по t-критерию Стьюдента [10].

Результаты и их обсуждение. В проведенных исследованиях было установлено, что в оптимальных условиях культивирования предобработка семян всеми модификациями элиситора не повлияла на всхожесть и энергию прорастания яровой пшеницы, но отдельные концентрации различных модификаций препарата стимулировали рост проростка. Линейные размеры подземной части увеличивались под действием 0,01 мМ Sf-40, длина первичных корешков возросла одинаково при ПОС всеми модификациями препарата на 10-12% наибольшее увеличение отмечалось при применении Sf-51 при концентрации 0,8 мМ (рис. 1, 2).

При действии абиотического стресса, индуцированного осмотическим активным раствором сахарозы, наблюдалось снижение интенсивности ростовых процессов. Депрессия роста ростка в контрольном варианте составляла 69,7%. Торможение роста надземной части зависело от концентрации и вида препарата. Использование элиситора снижало негативное действие стрессора. Наибольшее протекание действие всех

модификаций элиситора отмечалось при концентрации 0,1 мМ (табл. 1).

Длина ростка уменьшалась на 7,8; 50,6; 8,8 и 45,4, соответственно при следующих модификациях Sf-40, Sf-45, Sf-50 и Sf-51. При более низких и высоких концентрациях депрессия роста было выше. Аналогичная закономерность наблюдалась и при анализе ростовой функции зародышевых корешков. Замедление роста при концентрации 0,1 мМ было выражено в меньшей степени и составляло, % от контроля — 19,2; 10,5; 19,2; 21,9, при концентрации 0,01 мМ — 30,5; 13,0; 30,5; 52,6, а при концентрации 0,8 мМ — 17,8; 34,6; 27,7 и 25,9 соответственно, при обработке семян Sf-40, Sf-45, Sf-50 и Sf-51 (табл. 1). Наиболее устойчивы к стрессовому воздействию оказались проростки, обработанные модификациями Sf-40 и Sf-50.

Изменение ростовых показателей при действии стрессового воздействия сопровождалось накоплением в проростках пшеницы малонового диальдегида (МДА), маркера окислительного стресса. К настоящему времени установлены неспецифические физиолого-биохимические ответы растений на уровне неблагоприятные факторы — это увеличение окислительных процессов из-за повышенной генерации свободных радикалов и усиление перекисного окисления липидов мембран (ПОЛ), в результате накопления МДА (табл. 2).

Растения, семена которых были обработаны Sf-40 в анализируемых вариантах различались по накоплению МДА в надземной части и в корнях, где его содержание было приблизительно в два раза больше (табл. 2). Под воздействием элиситора интенсивность окислительного стресса в проростках снижалась при применении всех концентраций препаратов. Наиболее оптимальным оказался вариант, в котором растения обрабатывали препаратом с концентрацией 0,1 мМ.

Закономерности влияния модификаций препаратов Sf-45, Sf-50, Sf-51 на окислительный статус проростков были аналогичны действию Sf-40, наибольшая устойчивость растений отмечалась также при концентрации препарата 0,1 мМ.

Для оценки эффективности фолиарной обработки семена пшеницы проращивали в водной культуре семь суток далее половину проростков переносили на осмотический раствор сахарозы 3,8 атм, через 2 суток проводили опрыскивание модифицированными препаратами до полного смачивания листьев. Как показали проведенные исследования реакция роста и корневой системы проростков была различной и зависела от концентрации элиситоров. В оптимальных условиях фолиарная обработка незначительно повлияла на их ростовую функцию. Так линейные размеры ростка под действием элиситора Sf 40 при концентрации 0,01 мМ увеличились на 10,4%, и не изменились при концентрациях 0,1 и 0,8 мМ (рис. 3). Фолиарная обработка привела к значительному торможению роста у зародышевых корней.

Подобный ответ растений на внекорневое воздействие обусловлен взаимодействием ростка и корневой системы проростков в результате дальнего транспорта регуляторных молекул, передающих информацию от ростка к корню. Наличие таких молекул было предсказано, а позже и доказано [11-13]. Роль сигнальных молекул выполняют мобильные пептиды, состоящие из 12-15 аминокислот, которые могут

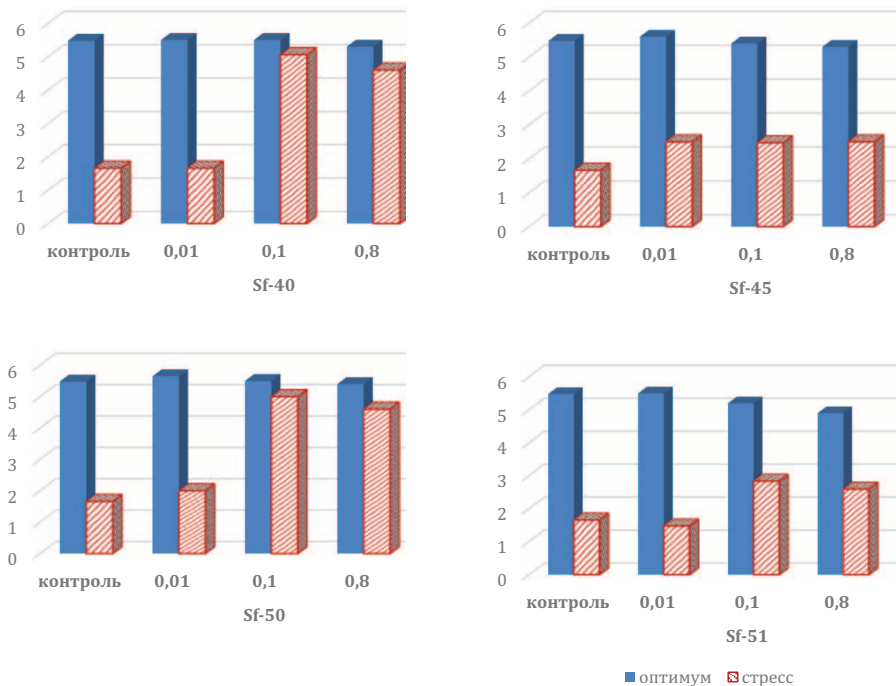


Рисунок 1. Влияние концентрации и модификации элиситора на длину ростка в оптимальных условиях и при осмотическом стрессе
 Figure 1. The effect of elicitor concentration and modification on germ length under optimal conditions and under osmotic stress

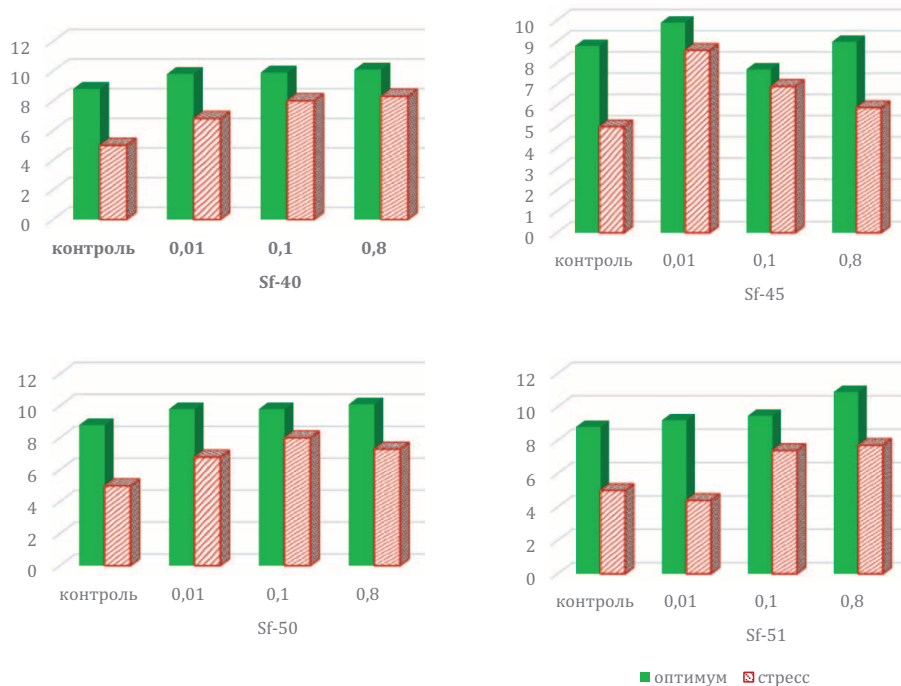


Рисунок 2. Влияние концентрации и модификации элиситора на длину корня в оптимальных условиях и при осмотическом стрессе
 Figure 2. The effect of elicitor concentration and modification on root length under optimal conditions and under osmotic stress

Таблица 1. Депрессия роста проростков при действии осмотического стресса при ПОС различными модификациями элиситора, %
 Table 1. Depression of the growth of seedlings under the action of osmotic stress in STP with various modifications of the elicitor, %

Показатели	Концентрация, мМ							
	ростки				корни			
	0	0,01	0,1	0,8	0	0,01	0,1	0,8
Sf 40	-	66,4	7,8	14,3	-	30,5	19,2	17,8
Sf 45	-	52,2	50,6	54,9	-	13,0	20,5	34,6
Sf 50	-	64,1	8,8	14,3	-	30,5	18,2	27,7
Sf 51	-	73,1	45,4	48,7	-	52,6	21,9	25,9
контроль	69,7				42,9			

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

При культивировании проростков после фоллиарной обработки на осмотике, имитирующем водный стресс, ростовые процессы были заторможены. Депрессия роста зависела от концентрации элиситора. Меньшее торможение было отмечено при концентрации 0,01 мМ и составило 35,3 и 53,2%, соответственно у листьев и корней по сравнению с аналогичным поливным вариантом, задержка роста у растений которого была 63,8 и 88,3% (табл. 3).

Все изученные концентрации элиситора снижали ингибирование роста корешков и проростка, по сравнению с необработанным контролем, что свидетельствует об их протекторном воздействии.

При изучении действия фоллиарной обработки элиситором было установлено, что в условиях осмотического стресса с увеличением концентраций препарата возрастало содержание МДА в ростках и корнях, свидетельствующее об увеличении напряженности стресса. Прямой зависимости между накоплением МДА и линейными размерами проростка не прослеживалось (табл. 4).

Экспериментальные данные, полученные многочисленными исследователями за последнее десятилетие, свидетельствуют о транзитном повышении содержания определённых сигнальных молекул, в том числе и активных форм кислорода, приводящем к усилению ПОЛ при действии стрессоров различной природы. Как видно из данных таблицы 4 применение элиситора во всех концентрациях, снижает негативное стрессовое воздействие, о чем свидетельствуют меньшие значения этого параметра по сравнению с необработанным контролем. Возможно, различия по содержанию МДА в изученных вариантах концентраций связаны с различной активностью антиоксидантной системы.

При оценке действия фоллиарной обработки модификациями Sf-45, Sf-50, Sf-51 установлены аналогичные закономерности изменения ростовых параметров: незначительное влияние или его отсутствие на линейные размеры наземной части, задержка роста корневой системы и протекторное действие элиситоров на ростовую функцию в стрессовых условиях. Изучение состояния пигментной системы растений пшеницы показало достоверное увеличение содержания каротиноидов при применении всех модификаций элиситора в оптимальных условиях и при действии стресса, что подтверждает защитную способность препарата (табл. 5).

Таким образом, фоллиарная обработка пшеницы элиситором в оптимальных условиях культивирования привела к торможению роста корневой системы. При действии осмотического стресса оказывала протекторное действие на



Таблица 2. Влияние препарата Sf-40 на содержание МДА в проростках пшеницы в корнях и при стрессе, мкМ/г

Table 2. The effect of Sf-40 on the content of MDA in wheat seedlings in the roots and under stress, mcM/g

вариант	росток		корень	
	опт	стресс	опт	стресс
контроль	1,15±0,08	2,79±0,011	2,62±0,1	4,23±0,025
Элиситор 0,01мМ	0,96±0,02	2,33±0,09	2,04±0,095	3,41±0,17
Элиситор 0,1 мМ	1,21±0,086	1,18±0,07	2,41±0,012	3,05±0,15
Элиситор 0,8 мМ	1,34±0,091	2,11±0,10	2,35±0,011	2,95±0,14



Рисунок 3. Влияние концентрации элиситора на параметры роста пшеницы при фолитарной обработке в нормальных условиях культивирования и действии стресса

Figure 3. The effect of the concentration of the elicitor on wheat growth parameters during foliar processing under normal cultivation conditions and the effect of stress

Таблица 3. Влияние концентрации элиситора Sf-40 на параметры роста растений

Table 3. The effect of the concentration of the Sf-40 elicitor on plant growth parameters

Показатели	длина ростков, см				длина корней, см			
	конт-роль	Концентрация, мМ			конт-роль	Концентрация, 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
Процент снижения от оптимума, %	66,2	23,5	57,6	57,6	88,3	53,2	54,8	56,6

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

Table 4. The effect of the Sf-40 elicitor on the parameters of the physiological and biochemical status of wheat under osmotic stress

Вариант обработки	ростки						корни			
	Длина		МДА		Содержание хлорофиллов a, b и каротиноидов, мг/г сыр массы		длина		МДА	
	см	% к контролю	мкМ/г сыр массы	% к контролю	каротиноиды	Σхл а и хл в	см	% к контролю	мкМ/г сыр массы	% к контролю
Контроль	2,6	100	2,15±0,11	100	4,49±0,19	1,1±0,4	1,7	100	5,38±0,24	100
0,01мМ	5,5	110	0,77±0,03	-64	7,85±0,34	1,8±0,62	3,7	117	0,64±0,024	-88
0,1 мМ	3,6	38	1,4±0,055	-34	7,30±0,38	2,0±0,05	2,9	70	2,3±0,081	-57
0,8 мМ	3,4	31	1,28±0,81	-40	5,33±0,20	1,4±0,048	2,4	41	2,0±0,063	-63

Таблица 5. Содержание каротиноидов в листе при фолитарной обработке различными концентрациями изучаемых препаратов (мг/100 г сыр массы)

Table 5. The content of carotenoids in the leaf during foliar treatment with various concentrations of the studied drugs (mg /100 g of cheese weight)

концентрация	Контроль		0,01		0,1		0,8	
	оптимум	стресс	оптимум	стресс	оптимум	стресс	оптимум	стресс
контроль	7,63±0,31	4,49±0,22	-	-	-	-	-	-
Sf-40	-	-	9,64±0,42	7,70±0,35	9,02±0,41	7,35±0,29	9,51±0,40	5,33±0,28
Sf-45	-	-	11,88±0,49	5,65±0,26	7,81±0,36	3,92±0,16	10,08±0,51	3,54±0,15
Sf-50	-	-	8,73±0,36	6,22±0,029	7,96±0,38	5,29±0,21	5,46±0,23	6,6±0,35
Sf-51	-	-	11,76±0,52	4,75±0,22	9,54±0,46	3,77±0,15	8,93±0,39	3,73±0,17

ростовую функцию сохраняя активность роста ростка и корней.

При оценке действия различных концентраций элиситора лучшей оказалась концентрация 0,01 мМ по сравнению с 0,1 и 0,8 мМ, так как в оптимальных условиях культивирования она в меньшей степени тормозила рост корневой системы, а при действии стресса оказывала протекторное влияние на ростовую функцию проростка, уменьшала ПОЛ и увеличивала синтез пигментов.

Для оценки физиологического воздействия препарата, оценивали действие модификаций элиситора Sf-40. Зерновки пшеницы проращивали на растворах препарата Sf-40 с возрастающей концентрацией затем, на 4 сутки проростки пересаживали на плотки, в качестве которых служили полистироловые планшеты с отверстиями на раствор осмотика и/или воду. Как показали проведенные эксперименты ответная реакция растений заключалась в снижении скорости роста первичных корешков на 10,2-12,3% при всех концентрациях элиситора и торможении роста надземной части проростка на 51,2-58,1% от контроля — (без элиситора) (табл. 6).

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

По данным литературных источников [14,15], 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 выявили значительные различия изучаемых концентраций Sf-40. Наибольшая относительная скорость роста, оцениваемая, как величина прироста в сутки на единицу уже существующей массы, оказалось при самой низкой концентрации элиситора — 0,01 мМ (табл. 6).



Таблица 6. Действие и последствие различных концентраций элиситора Sf-40 на ростовые показатели
Table 6. Effect and aftereffect of various concentrations of the Sf-40 elicitor on growth indicators

Вариант	Снижение роста к контролю, %		Относительная скорость роста после перестановки, усл. Ед.			
	ростки	корни	на воду		на раствор осмотика	
			ростки	корни	ростки	корни
Контроль	100	100	0,298	0,135		
0,01мМ	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

При переносе растений с раствора элиситора на осмотически активный раствор сахарозы, рост корней остановился, 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 контактирующие с ним органы.

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.

Таким образом, все изученные в эксперименте способы применения элиситоров способствуют повышению устойчивости растений к осмотическому стрессу на первых этапах вегетации. Оптимальной концентрацией при предпосевной обработке семенного материала, является 0,1 мМ, при фолитарной обработке и оценке последствие препарата концентрация 0,01 мМ.

Список источников

1. Шклярюв А.П. Аграрное производство в условиях глобального изменения климата //Аграрная экономика. 2021, № 6. С. 85-94.
2. Порфирьев Б.Н. Изменения климата и экономика России: тенденции, сценарии, прогнозы. Монография. М.: «Научный консультант», 2022. 514 с.
3. Bartels S., Boller T. Quo vadis, Pep? Plant elicitor peptides at the crossroads of immunity, stress, and development // Journal of Experimental Botany. V. 66. I. 17. August 2015. P. 5183-5193.
4. Jones J.P.G., Dangl J.L. The plant immune system // Nature. 2006. Vol. 444. P. 323-329
5. Соколов Ю.А. Элиситоры и их применение в растениеводстве. : Минск: Белорусская наука, 2006. 203 с.

6. 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
7. Тютюрев С.Л. Экологически безопасные индукторы устойчивости растений к болезням и физиологическим стрессам// Вестник защиты растений. 2015. № 1(83). С. 3-13.
8. Нельсон Д., Кокс М. Основы биохимии Ленинджера. М.: Лаборатория ЗНАНИЙ. 2020. Т.1. 694 с.
9. 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.
10. 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.
11. Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений. Учебное пособие студентов биологических факультетов вузов. СПб.: СПбГУ, 2002. 244 с.
12. 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
13. 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
14. Davies W.J., Kudoyarova G., Hartung W. 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. N. 4, p. 285-295. DOI: 10.1007/s00344-005-0103-1
15. Jeschke D.W., Hartung W. Root-shoot interactions in mineral nutrition // Plant and Soil. 2000. Vol. 226. N.1, p. 57-69.

References

1. Shklyarov A.P. (2021). *Agrarnoe proizvodstvo v usloviyakh global'nogo izmeneniya klimata* [Agricultural production in the context of global climate change] *Agrarnaya ekonomika*, no. 6, pp. 85-94.

2. Porfir'ev B.N. (2022). *Izmeneniya klimata i ehkonomika Rossii: tendentsii, stsennarii, prognozy*. Monografiya. [Climate change and the Russian economy: trends, scenarios, forecasts. Monograph.] Moscow: «Nauchnyi konsult'ant», 514 p.

3. Bartels S., Boller T. (2015). Quo vadis, Pep? Plant elicitor peptides at the crossroads of immunity, stress, and development. *Journal of Experimental Botany*, vol. 66, i. 17, pp. 5183-5193.

4. Jones J.P.G., Dangl J.L. (2006). The plant immune system. *Nature*, vol. 444, pp. 323-329.

5. Sokolov Yu.A. (2006). *Ehlsitory i ikh primeneniye v rastenievodstve*. [Elicitors and their application in crop production.] Minsk, Belorusskaya nauka, 203 p.

6. Yamaguchi Y., Huffaker A. (2011). Endogenous peptide elicitors in higher plants. *Current opinion in plant biology*, vol. 14, no. 4, pp. 351-357. DOI: 10.1016/j.pbi.2011.05.001

7. Tyuterev S.L. (2015). *Ehkologicheski bezopasnye induktory ustoichivosti rasteniy k boleznyam i fiziologicheskim stressam* [Environmentally safe inducers of plant resistance to diseases and physiological stresses]. *Vestnik zashchity rasteniy*, vol. 1, no. 83, pp. 3-13.

8. Nelson D., Koks M. (2020). *Osnovy biokhimii Lenindzhera* [Fundamentals of biochemistry of Leningrad]. Moscow, Laboratoriya ZNANI, vol. 1, 694 p.

9. Bykovskaya I.A., Osipova L.V. (2023). *Vliyaniye novogo polielementnogo agrokhimikata na rosti i ustoichivost' yarovoi pshenitsy i gorokha na pervykh etapakh razvitiya* [The influence of a new polyelement agrochemical on the growth and stability of spring wheat and peas at the first stages of development]. *International Agricultural Journal*, no. 1 (391), pp. 53-57.

10. Dospikhov B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). Textbooks and studies. benefits for higher education. studies. establishments], Moscow, Agropromizdat, 351p.

11. Chirkova T.V. (2002). *Fiziologicheskie osnovy ustoichivosti rasteniy* [Physiological foundations of plant resistance]. *Uchebnoe posobie studentov biologicheskikh fakul'tetov vuzov*, Saint-PetersburgSPb, SPbGU, 244 p.

12. Oh E., Seo P.J., Kim J. (2018). Signaling peptides and receptors coordinating plant root development. *Trends Plant Sci*, vol. 23, no. 4, pp. 337-351. DOI: 10.1016/j.tplants.2017.12.007

13. Delves A.C. et al. (1986). Regulation of the soybean-Rhizobium nodule symbiosis by shoot and root factors. *Plant Physiol*, vol. 82, no. 4, pp. 588-90. DOI: 10.1104/pp.82.2.588

14. Davies W.J., Kudoyarova G., Hartung W. (2005). 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*, vol. 24, no. 4, pp. 285-295. DOI: 10.1007/s00344-005-0103-1

15. Jeschke D.W., Hartung W. (2000). Root-shoot interactions in mineral nutrition. *Plant and Soil*, vol. 226, no.1, pp. 57-69.

Информация о авторах:

Быковская Ирина Александровна, старший научный сотрудник, лаборатория физиологии минерального питания и устойчивости, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6241-7520>, bykovskaya_irina@bk.ru
Осипова Людмила Владимировна, доктор биологических наук, заведующая лабораторией физиологии минерального питания и устойчивости, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5375-4939>, legos4@yandex.ru
Матевосян Каринэ Рафаеловна, доцент кафедры органической химии, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-9447-9148>, karine.rafaelovna@gmail.com
Хачатрян Дереник Саркисович, кандидат химических наук, начальник лаборатории природных соединений, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5490-5652>, derenik-s@yandex.ru

Information about authors:

Irina A. Bykovskaya, senior researcher, laboratory of physiology of mineral nutrition and sustainability, All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6241-7520>, bykovskaya_irina@bk.ru
Lyudmila V. Osipova, doctor of biological sciences, head of the laboratory of physiology of mineral nutrition and sustainability, All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5375-4939>, legos4@yandex.ru
Karine R. Matevosyan, assistant professor in department of organic chemistry, D. Mendeleev University Chemical Technology of Russian, ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-9447-9148>, karine.rafaelovna@gmail.com
Derenik S. Khachatryan, candidate of chemical sciences, head of laboratory of natural compounds, National Research Center «Kurchatov Institute», ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5490-5652>, derenik-s@yandex.ru

