

НОВАЯ ГРУППА БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ И ИХ РОЛЬ В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Рябчинская Т.А., доктор сельскохозяйственных наук
Бобрешова И.Ю., кандидат сельскохозяйственных наук
Зими́на Т.В., кандидат сельскохозяйственных наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт защиты растений»
e-mail: biometod@mail.ru

Аннотация. Представлен обзор групп регуляторов роста растений и механизмов их действия. Описано действие созданных во ВНИИЗР биологических препаратов – регуляторов роста, включающих сигнальные системы и обеспечивающих широкое полифункциональное влияние на растения, – Стимунол, Стивин, Стимаклюр. Доказана высокая эффективность препаратов, их перспективность и необходимость включения в современные агротехнологии.

Ключевые слова: регулятор роста, элиситор, саллициловая кислота, сахароза, сигнальные системы, Стимунол, Стивин, Стимаклюр, маклюра оранжевая.

Регуляторы роста являются важным современным инструментом повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды. Издавна в практике использовались препараты на основе природных фитогормонов (гиббереллины, ауксины, цитокинины, этилен). Позднее к ним примкнули и средства, действующими веществами которых являются брассиностероиды, относящиеся также к гормонам растений. Как правило, их целевое назначение состоит в управлении репродуктивными и отдельными физиологическими процессами в растениях. Некоторые из них проявляют умеренную полифункциональность действия. В конце XX – начале XXI вв. ассортимент регуляторов роста расширился за счет препаратов, синтезированных химическим путем или на основе отдельных веществ естественного происхождения, среди которых большую группу занимают вещества, обладающие ретардантными свойствами. Препараты последней группы занимают главное место (до 80 % объема продаж) на отечественном рынке, причем она сформирована в основном дорогостоящими импортными регуляторами роста.

В последние десятилетия усилия ученых привели к созданию полифункциональных регуляторов роста

на основе физиологически активных соединений, обладающих свойствами элиситоров или сигнальных веществ, проявляющих свое действие в нанограммовых дозировках. Большой вклад в разработку теоретических основ функционирования сигнальных систем растений внесли отечественные физиологи, биохимики и генетики: И.А. Тарчевский, Ю.Т. Дьяков, С.Л. Тютерев, Л.В. Метлицкий, О.Л. Озерецковская, Л.И. Ильинская и др. В их работах обоснованы механизмы действия данных веществ, которые характеризуются высокой сложностью, основанной на природных процессах жизнедеятельности растительных организмов. Понять данные процессы стало возможным только на стыках различных биологических наук. Сигнальные цепи (определенная последовательность биохимических реакций), выстраиваемые в результате поступления сигнала элиситора, сплетаются в единую сеть, наподобие нейронной сети мозга человека. Открытие сигнальных сетей произошло благодаря исследованиям в области фитоиммунитета, и термин «элиситор» вначале применялся только в данном аспекте. В настоящее время элиситорами принято считать органические и неорганические соединения, а также физические факторы (электромагнитные колебания, различные виды радиоактивных излучений), способные в крайне низких дозировках вызывать на генетическом, биохимическом и клеточном уровнях реакции, приводящие к существенному изменению биологических особенностей растений (признаки роста, развития, иммунного статуса). Элиситорами являются полисахариды, водорастворимые полипептиды и гликопротеины, липидсодержащие вещества (ненасыщенные жирные кислоты), липополисахариды, содержащиеся в мембранах бактерий [1].

Для многих органических веществ в настоящее время установлены новые функциональные свойства, а именно: сигнальные, расширяющие их «каноническое» значение для растений. К ним можно отнести



свободные аминокислоты, пептиды, полиамины, бетаины [2, 3].

Существенную роль в разных сигнальных системах играет салициловая кислота, относимая в последнее время многими физиологами к фитогормонам, которая активирует протекторные системы растений на абиотический стресс [4]. Увеличение ее содержания в клетках растений служит сигналом к повышению активности ферментов пероксидаз и активизации генов системной приобретенной устойчивости [5].

Сведения о сигнальных функциях растворимых углеводов появились относительно недавно. Так, сахара рассматриваются как мессенджеры, участвующие в управлении экспрессией генов, регулирующих процессы фотосинтеза, роста и расходования энергетических ресурсов. Установлено, что в условиях действия стресса сахара в клетках растений проявляют полифункциональные протекторные и регуляторные эффекты, которые включают в себя осмопротекцию, антиоксидантное действие на белки и другие макромолекулы и их комплексы, а также участвуют в передаче гормональных и других внутриклеточных сигналов [6]. Экзогенная глюкоза может активировать биосинтез абсцизовой кислоты (АБК) и вызывать ее накопление в растениях [7]. Предполагают, что некоторые полиамины, с одной стороны, могут модифицировать передачу сигналов фитогормонов, а, с другой стороны, являются сигнальными веществами, принимающими участие в защите растений от окислительного стресса, вызывая индукцию ферментов антиоксидантной защиты [2].

В перечисленный выше круг сигнальных веществ и факторов не входят генномодифицирующие ве-

щества, изменяющие генетический код живых организмов. Воздействие элиситоров на генетический аппарат растений носит фенотипический характер и проявляется только в изменении активности тех или иных генов [8].

Установление элиситорных свойств различных химических соединений продолжается постоянно. Еще в конце 90-х годов было известно более 5 тысяч соединений различного происхождения, обладающих регуляторным действием. Из этого количества в мировой практике сейчас используется не более 1 % известных веществ. При этом разработка регуляторов роста, индуцирующих иммунные реакции и модулирующих различные ростовые процессы в растениях, активно ведется во всем мире. Создано достаточно много препаратов-регуляторов роста, как биогенного (на основе ризобактерий и факультативных патогенных микроорганизмов и их метаболитов), так и абиогенного происхождения, представляющих собой продукты химического синтеза.

Механизмы действия элиситорных препаратов очень сложны, поскольку достижение результата осуществляется через само защищаемое растение: изменение его физиологического состояния и иммунного статуса. Известно, что одно и то же вещество, обладающее элиситорным действием, может экспрессировать до нескольких десятков генов [9]. Под действием определенного элиситора могут последовательно или параллельно запускаться несколько сигнальных путей. При этом работа всех генов отражается на функционировании иммунной и гормональной систем растений. На рисунке 1 представлены основные направления действия полифункциональных элиситорных препаратов.

При этом может возникать ситуация, когда отдельные сигнальные системы ингибируют друг друга, что определенным образом отражается на ответной реакции растения [10].

Индукция защитных реакций от фитопатогенов является одним из важнейших направлений действия полифункциональных элиситорных препаратов. Признано, что элиситоры-иммунокорректоры индуцируют в растениях неспецифический иммунитет ко многим патогенам по принципу сигнала тревоги, который на клеточном уровне аналогично возникает также при действии любой стрессовой ситуации. Однако нашими исследованиями, а также работами других ученых установлено, что уровень индуцированной устойчивости к тому или иному патогену находится в тесной зависимости от его пищевой стратегии (био-



Рисунок 1. Проявления эффектов действия элиситорного препарата на растения и их сопряженность

троф – облигатный или сапротроф – факультативный паразит), а, значит, в определенной степени – от вида фитопатогена, а также от инфекционного фона [5, 11]. Их биологическая эффективность в отличие от химических фунгицидов может варьировать от 10 до 70–80 %. Однако в тех условиях, когда применение химических пестицидов нежелательно или полностью запрещено, данное действие регуляторов роста можно признать чрезвычайно ценным.

В свете новых открытий ученых в области биохимии и генетики можно констатировать, что многие биопрепараты-иммунокорректоры на основе бактерий, грибов и их культуральных жидкостей также обладают элиситорным действием, поскольку имеют в своем составе перечисленные выше группы сигнальных веществ.

Важнейшим направлением действия полифункциональных регуляторов роста растений является снижение пестицидного стресса, особенно за счет использования гербицидов. Происходящие в растениях под действием различных стрессов изменения на биохимическом уровне выражаются в нарушении функционирования ферментных систем, регулирующих весь сложный комплекс энергообмена, в том числе механизмов иммунитета к фитопатогенам и в целом – устойчивости растений к различным неблагоприятным факторам среды. Данные изменения являются следствием «включения» стрессорами относительно небольшого числа неспецифических сигнальных систем, общих для абиотических и биотических стрессов [12].

До настоящего времени проблема пестицидного стресса в практическом плане не решена. Причиной является ряд недостатков традиционных химических антидотов: они токсичны и медленно разлагаются в окружающей среде; нормы их расхода высоки; большинство обладает высокой избирательностью. Антидоты широкого спектра действия, которые можно было бы использовать с различными пестицидами, отсутствуют. В последнее десятилетие в качестве альтернативы химическим антидотам выдвигаются принципиально новые решения проблемы преодоления стрессов растений.

В опытах с регуляторами роста было показано, что токсичность ряда гербицидов на сахарной свекле, картофеле и других культурах может быть снижена с одновременным увеличением урожайности при использовании в качестве неспецифических протектантов – Иммуноцитифита, гумата натрия, хлорхолинхлорида (Тур) и брассинолидов (Эпин) [13–15]. По мнению многих специалистов, для обеспечения гарантированных положительных результатов применения химические пестициды должны в обязательном порядке комбинироваться с антистрессантами-антидотами.

Механизмы действия регуляторов роста в качестве антидотов принципиально отличаются от типичных

химических антистрессантов. Принимая во внимание полифункциональность действия регуляторов роста, антидотный эффект при их применении может быть получен за счет самых разнообразных факторов. Так, увеличение урожайности может быть достигнуто разными путями, в частности: за счет активизации фотосинтетических процессов на определенной стадии развития растения, влияния на ростовые процессы в отдельных органах, снижения выпадов всходов, вследствие усиления устойчивости к различным заболеваниям и за счет других факторов. Причем тот или иной эффект проявления действия регулятора роста в растениях на поздних фазах может программироваться обработкой на более ранних стадиях их развития. Так, устойчивость к корневым гнилям корнеплодов сахарной свеклы и сохранность растений существенно увеличивается при обработках растений регулятором роста Стимунол в фазу 5 пар настоящих листьев, то есть в третий срок применения гербицидов [16].

Главный триггерный механизм в регуляции направления действия любого элиситорного препарата состоит в концентрации рабочего раствора или количестве действующих веществ, попадающих в растения в процессе обработки. Кроме того, эффекты действия существенно меняются в зависимости от фенологической фазы, в момент прохождения которой в растения вносятся элиситоры. Это обусловлено тем, что в растениях в естественном состоянии уже запущена и работает определенная лабильная и очень чувствительная схема развития, в которую «вмешивается» новый руководящий сигнал, приводящий к изменению биохимизма и физиологии растения. Вследствие этого препараты данной группы являются совершенно особыми тонкими средствами управления развитием растений, что в принципе является мечтой человека, овладевающего секретами природы. Оказывается, что на тонком плане (генетический и клеточный уровень организации организма) растения более точно «понимают» и «исполняют» целеполагающие установки человека. Век нанотехнологий смело внедряется в нашу жизнь на уровне биологии. Однако это обязывает ученых очень тщательно разрабатывать новые агротехнологические приемы, а практиков – не допускать ошибок при их применении. При таком отношении ответные положительные реакции растений обязательно будут соответствовать поставленным целям.

Еще не исследованы полностью все процессы, приводящие к видимым и невидимым эффектам действия элиситоров при внесении их в растения, но препараты на их основе находят в настоящее время все более широкое применение в практике растениеводства.

Второе десятилетие в нашем институте продолжается работа над созданием биологических препаратов-регуляторов роста, включающих сигнальные системы и обеспечивающих широкое полифункциональное влияние на растения. В отличие от наиболее часто



Таблица 1. Хозяйственная эффективность Стимунола ЕФ в качестве антистрессанта и стимулятора роста при включении в технологическую схему, принятую в хозяйстве

Культура	Область	Хозяйство	Прибавка урожая	
			ц/га	% к системе, используемой в хозяйстве
Озимая пшеница	Воронежская	ООО «Пром-Инвест»	5,0	22,7
		КФХ «Пивоваров»	3,1	10,6
		«Лозовое»	4,0	27,0
		КХ «Луч»	8,0	28,6
		ООО «Содружество»	2,2	8,4
		ЗАО «Нарышкино»	14,6	21,5
		ООО «Авангард-Агро-Воронеж»	4,7	7,3
	Рязанская	ООО «Агро-С»	6,7	16,5
	Тамбовская	ООО ЮВАГ «Агрофирма Жердевская»	4,0	10,8
Яровой ячмень	Рязанская	ООО «Агро-С»	10,8	28,2
Кукуруза	Воронежская	КФХ «Пивоваров»	3,1	10,6
Рапс	Рязанская	ООО «Агро-С»	0,6	8,3
	Липецкая	ООО «Лебедянское»	1,3	5,2
Сахарная свекла	Орловская	ООО «Сельхозинвест»	64,4	18,0
	Воронежская	ООО ЦЧ АПК «Ф-л Левашовка»	41,2	7,7
		ООО «Нива»	81,0	13,2
		ООО «им. Куйбышева»	74,7	17,7
	Тамбовская	ООО ЮВАГ «Агрофирма Жердевская»	91,3	13,6
Картофель	Воронежская	«Гермес Агро»	27,6	13,8
		КФХ «Абасов»	16,0	20,2
Лен-кудряш	Воронежская	ООО «Сельхозинвест»	0,3	7,7
Соя	Воронежская	ООО «Землемер Агро»	1,2	6,2
		ООО ЦЧ АПК «Ф-л. Левашовка»	2,7	10,3
	Липецкая	Ф-л ООО «ЛТ Агро»	2,8	16,3
Подсолнечник	Воронежская	ООО «Авангард-Агро-Воронеж»	2,2	11,8

используемых элиситорных препаратов в них содержится не одно сигнальное соединение, а достаточно большие комплексы природных веществ, выделенных из животных или растительных организмов.

Препарат Стимунол ЕФ, Ж разработан на основе биомассы гибридной популяции компостного червя. Еще в 60-х годах прошлого века исследованиями доказано стимулирующее действие на растения комплекса биологически активных веществ из тел почвенных олигохет или дождевых червей [17], что послужило идеей и основанием для создания препарата на их основе, которое было начато в 2008 году.

В составе Стимунола в количестве, обеспечивающем элиситорное действие препарата, содержатся более 10 видов свободных аминокислот, полиамины и некоторые глюкозы. При разработке препарата в лабораторных условиях был изучен характер действия отдельных химически чистых аминокислот на проростки ячменя после обработки семян и показано, что ряд аминокислот (валин, пролин, изолейцин, глицин,

глутамин, аргинин, фенилаланин) в крайне низких дозировках (от 0,01 до 0,5 мл/т семян) вызывали индукцию защитных реакций и модифицировали активность отдельных ростовых процессов [18, 19]. В 2022 г. препарат был зарегистрирован в Государственном каталоге пестицидов, разрешенных для применения в РФ, а до настоящего времени использовался по разрешению Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору. За эти годы он прошел многочисленную производственную проверку в различных регионах России на основных сельскохозяйственных культурах.

Полифункциональное действие Стимунола ЕФ проявляется в активизации ростовых процессов в растениях и развитии генеративных органов, увеличении количества клубней (картофель) и массы корнеплодов (сахарная свекла), а также усилении фотосинтетических процессов. Отмечено влияние препарата на увеличение сахаристости корнеплодов сахарной свеклы, повышение содержания белка в зер-

не озимой пшеницы. Препарат системно повышает устойчивость растений к комплексу патогенных микроорганизмов, снижает стрессовое воздействие пестицидов и других неблагоприятных факторов среды. Многофункциональность Стимунола ЕФ в целом способствует существенному увеличению продуктивности растений. В зависимости от сортовых особенностей растений, используемой агротехнологии (сочетания с различными органоминеральными, микроудобрениями и другими агрохимикатами), складывающихся погодных условий, прибавки урожая при применении биостимулятора на различных культурах варьировали от 5 до 30 % и более. В таблице 1 представлена хозяйственная эффективность Стимунола ЕФ при включении его в традиционные агротехнологии в различных регионах России.

Применение Стимунола ЕФ в растениеводческих технологиях с экономической точки зрения высокоэффективно. Благодаря низким нормам расхода и высоким прибавкам урожая, рентабельность его применения составляет от 250 до 750 %.

Биологический полифункциональный препарат Стивин, Ж разработан в институте на основе активных веществ с элиситорным действием из плодоземнов винограда и сахарной свеклы. Содержание аминокислот в составе действующей композиции препарата существенно ниже, чем у Стимунола ЕФ, в процентном отношении оно варьирует в пределах от $0,01-3,2 \times 10^{-4}$ % при преобладании глицина, лейцина и изолейцина. Элиситорное действие основано в основном на двух соединениях: ресвератрол – природный полифенол с химической формулой $C_{14}H_{12}O_3$, который вырабатывается в клетках некоторых растений в ответ на действие различных стрессовых факторов, и абсцизовая кислота. Биологическая роль ресвератрола в клетках растений, как было установлено в наших исследованиях, определяется также участием в процессах формирования защитных реакций по отношению к патогенным микроорганизмам и стрессам в качестве антиоксиданта. В 1 литре препарата Стивин его количество составляет 0,51 мкг. Установлено также, что при содержании ресвератрола в Стивине в интервале концентраций от 0,001 до 0,003 % отмечалось увеличение пероксидазной

активности семидневных проростков относительно контрольных растений (до 2,3 раза) и резкое возрастание содержания в растениях салициловой кислоты (до 6–15 раз), что свидетельствует об участии его в передаче сигналов по салицилатному и НАДФ-Н-оксидазному сигнальным путям клеточных систем растений.

Второй важный элемент препарата Стивин – фитогормон АБК, выделяемая из околоплодников сахарной свеклы. АБК особенно важна для поддержания водного баланса в условиях засухи. Доказано ее участие в формировании физиолого-биохимических реакций в растениях, связанных с защитными и ростовыми процессами в качестве сигнальных молекул. Установлено ее влияние на функционирование кальциевой и аденилатциклазной сигнальных систем клеток растений [5, 20]. Содержание АБК в растительном материале, используемом для получения Стивина, по результатам газожидкостной хроматографии составляет 0,0001 %, что достаточно для проявления элиситорного действия на растения. Помимо перечисленных действующих веществ в составе препарата содержатся в микродозах (до 0,003 мкг/л) микроэлементы: Zn, Fe, Mn, Mg и B, которые также могут участвовать в сигнальном действии препарата.

На примере Стивина можно проиллюстрировать характер действия на растения элиситорного препарата на популяционном уровне озимой пшеницы в зависимости от используемой нормы применения. Ранее было установлено, что эффект влияния дозировки элиситорного препарата на тот или иной показатель

Таблица 2. Математические зависимости показателей роста и развития растений озимой пшеницы от используемой дозировки Стивина при обработке вегетирующих растений (полиномиальная регрессия 2–3 степени)

Показатели	Уравнение регрессии	Коэффициент достоверности аппроксимации R ²
Высота растений	$y = -0,0002x^3 + 0,0479x^2 - 3,3425x + 88,83$	0,378
Длина второго междоузлия	$y = 0,0007x^3 - 0,1506x^2 + 11,386x - 179,84$	0,7608
Диаметр второго междоузлия	$y = 0,0002x^3 - 0,0426x^2 + 2,2789x + 4,897$	0,7485
Длина колоса	$y = -0,0005x^3 + 0,1171x^2 - 9,2337x + 36,81$	0,6788
Продуктивная кустистость	$y = 0,001x^3 - 0,2565x^2 + 20,963x - 463,64$	0,5197
Площадь флагового листа	$y = -0,0002x^3 + 0,0442x^2 - 3,0885x + 74,48$	0,378
Синтез хлорофилла	$y = -0,009x^2 + 1,222x + 63,32$	0,7488
Продуктивность фотосинтеза	$y = 0,0011x^3 - 0,2779x^2 + 23,406x - 533,52$	0,747
Масса зерна/колос	$y = -0,0009x^3 + 0,2031x^2 - 15,258x + 90,96$	0,4271
Масса 1000 зерен	$y = 0,0002x^3 - 0,0476x^2 + 3,4798x + 6,557$	0,6666
Урожайность	$y = -0,009x^2 + 1,4x + 62,46$	0,8724
Стекловидность зерна	$y = 0,0019x^3 - 0,4969x^2 + 41,981x - 1042,3$	0,9233
Массовая доля клейковины	$y = 0,0014x^3 - 0,3456x^2 + 27,701x - 619,24$	0,9931
Массовая доля белка	$y = 0,0006x^3 - 0,1499x^2 + 12,418x - 233,73$	0,8861
Иммунный статус	$y = -0,0014x^3 + 0,3506x^2 - 29,28x + 820,09$	0,8773

Примечания: x – дозировка Стивина, мл/га; y – значения показателей, % к контролю



роста и развития растений подчиняется не прямой пропорциональной зависимости, а имеет синусоидальную ритмичность или полиномиальную математическую связь [21]. В дальнейшем эти выводы были подтверждены авторами при разработке технологических регламентов применения регуляторов роста Стимунол [19] и Стивин [22].

При исследовании зависимостей изучаемых показателей состояния растений от дозировки препарата Стивин на озимой пшенице (обработки вегетирующих

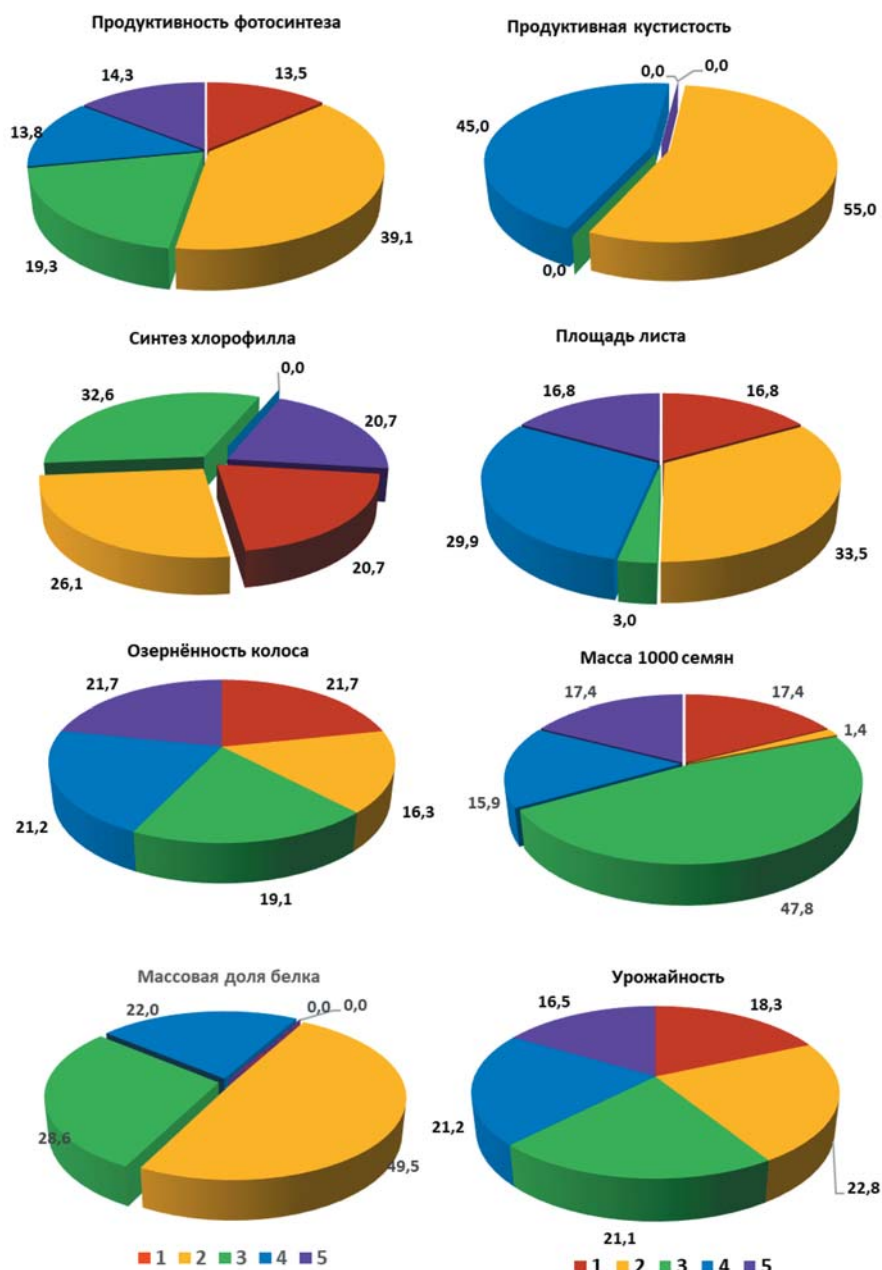
растений в фазу кушения) высокие значения коэффициента аппроксимации (от 0,67 до 0,92) были установлены для 11 признаков из 15 (73 %). Интегральный показатель урожайности зависел от нормы применения препарата при $R^2 = 0,88$ (табл. 2).

Полевой опыт показал, что полифункциональность действия препарата в определенной дозировке при учете только существенного влияния на различные показатели роста и развития более четко прослеживается при норме его применения 70 мл/га. Такое воздействие было отмечено по 10 направлениям, тогда как при дозировке 100 мл/га такие изменения происходили только по 5 направлениям.

На рисунке 2 можно проследить, какие дозировки оказывали на тот или иной показатель максимальное воздействие, и оценить эффективность препарата в определенном направлении действия. Так, на продуктивную кустистость больше всего влияли обработки Стивином при нормах применения 70 и 90 мл/га. Однако по интегральному признаку – увеличению урожайности культуры, близкую эффективность показали 3 нормы применения препарата (70, 80 и 90 мл/га). При этом отмечено значительное влияние Стивина на массу 1000 зерен в дозировке 80 мл/га. В итоге оптимальной нормой применения препарата при обработке озимой пшеницы в фазу кушения весной была признана дозировка 70 мл/га, которая обеспечивала максимальную прибавку урожая.

Данный пример показывает, что основным правилом при использовании элиситорного регулятора роста является точное соблюдение его дозировки, поскольку даже небольшие отклонения от оптимальной нормы приводят к изменению реакций растений и снижению вероятности достижения желаемого результата.

Технологические регламенты использования препарата в настоящее время разработаны, однако, он еще не прошел регистрационные процедуры, поэтому в производстве не используется. По результатам полевых испытаний Стивин обеспечивал пролонгированное иммуностимулирующее действие по отношению к основным заболеваниям на сельхозкультурах (зерновые, соя, сахарная свекла, кар-



Условные обозначения: 1 – 60; 2 – 70; 3 – 80; 4 – 90; 5 – 100 мл/га

Рисунок 2. Влияние нормы применения Стивина на показатели продуктивности и качество урожая озимой пшеницы (цифры в диаграммах – доля от общего влияния препарата на растение, %)



тофель, подсолнечник, люцерна) в зависимости от инфекционного фона от 10 до 73 % (в среднем 35–40 %). Пролонгированный иммунитет, приобретенный в результате обработки препаратом по отношению к различным заболеваниям на листьях, составлял до 54 %, относительно гнилей корнеплодов – 36 %. Увеличение урожайности различных культур при обработке вегетирующих растений препаратом варьировало от 7–10 до 23–32 %. Отмечено влияние препарата Стивин и на технологические качества продукции. В производственных условиях подтверждено получение прибавки урожая подсолнечника до 28,8 % при увеличении масличности семян на 4,4 %. Содержание крахмала в клубнях картофеля при обработке вегетирующих растений увеличивалось до 7,2 %, на сое содержание белка в зерне – на 3,6 % [22].

В настоящее время в институте осуществляется разработка технологических регламентов применения нового полифункционального регулятора роста растительного происхождения – Стимаклюр. Биопродуцентом активных действующих веществ препарата, содержащихся в плодах, является маклюра оранжевая *Maclura pomifera* (Raf.) Schneid. (семейство Тутовые – *Moraceae*). В предшествующие годы была доказана перспективность использования в качестве биоматериала – спиртового экстракта из плодов растения маклюры оранжевой. По литературным данным, она богата витаминами, органическими кислотами и их эфирами, ферментами, сапонинами, флавоноидами, пектиновыми веществами, макро- и микроэлементами. Это – мощный природный антибиотик, иммуномодулятор и антиоксидант. В плодах маклюры оранжевой содержится большой набор вторичных метаболитов, которые могут принимать участие в сигнальных системах клеток в качестве элиситоров. Главными активными соединениями экстракта маклюры являются два компонента из группы пренилизофлавонов – осаин и помиферин. Количество смеси осаина с помиферином в экстракте 96 % этанола при максимальном наполнении биомассы составляет порядка 0,1 %. Помимо этого в плодах содержится богатейший набор органических соединений (липофильные вещества и глюкозаны): изофлавоны, озаржин, тритерпены, фитостерины (сканденон, аурикулазин; кемпферол, токоферолы) и полиненасыщенные жирные кислоты, полисахариды, свободные аминокислоты. Многие из данных соединений обладают элиситорным действием. Практика применения данного вида в сельском хозяйстве ранее для каких-либо целей отсутствует. В 2022 г. была разработана эффективная препаративная форма препарата Стимаклюр, Ж, которая в полевых условиях на зерновых культурах и сое показала достаточно высокую эффективность, по уровню не уступающую эффектам действия на данных культурах Стивина [23–24]. Были испытаны регламенты применения препарата при предпосевной обработ-

ке семян и опрыскивании вегетирующих растений. На озимой пшенице и яровом ячмене его иммунизирующая активность по отношению к основным болезням в отдельных нормах внесения достигала 44–52 % и имела пролонгированное действие. Увеличение урожайности ячменя при обработке семян максимально достигало 18,8 %, вегетирующих растений – 8,5 %, что было выше эталонного регулятора роста растений аналогичного действия. На озимой пшенице при использовании Стимаклюра в фазу кущения наибольшее увеличение урожайности составило 18,8 %. В отдельных нормах применения отмечено ретардантное действие препарата. При обработке семян сои установлено сильное влияние препарата на увеличение ассимиляционной поверхности листового аппарата. Максимальная прибавка урожая на данной культуре составила 11,5 % относительно контроля. При обработке сои в фазу 2–3 тройчатых листьев прибавки урожая варьировали в зависимости от нормы применения препарата в пределах 7,8–10,8 %.

На сахарной свекле при предпосевной обработке семенного материала масса корнеплодов относительно контроля увеличивалась прямо пропорционально увеличению нормы применения препарата, до 39 % при использовании 30 мл/т, но сахаристость корнеплодов при этом пропорционально снижалась. Максимальное увеличение сахаристости отмечено при норме применения 15 мл/т. Прибавка урожая корнеплодов в опыте максимально составила 10 % при норме применения 25 мл/т. При обработке семенного материала отмечено пролонгированное иммунизирующее действие Стимаклюра относительно заболеваний на листьях в начале сентября: мучнистой росы – до 47,2 % и фомоза – до 25,5 %.

Многолетние исследования, посвященные изучению механизмов действия элиситорных биологических полифункциональных препаратов и разработке регламентов их практического применения в растениеводстве, доказывают высокую перспективность и необходимость включения их в современные агротехнологии. Однако при разработке препаратов и технологий необходимо учитывать всю глубину и сложность механизмов их действия, нюансы и особенности данных современных средств повышения комплексной устойчивости к неблагоприятным факторам среды и продуктивности сельскохозяйственных культур.

Список использованной литературы

1. Ильинская, Л.И. Биохимические аспекты индуцированной устойчивости и восприимчивости растений / Л.И. Ильинская, Н.И. Васюкова, О.Л. Озерецковская. - Итоги науки и техники. С. Защита растений. Т.7. - М., 1991. – 193 с.
2. Колупаев, Ю.Е. Участие растворимых углеводов и низкомолекулярных соединений азота в адаптивных реакциях растений / Ю.Е. Колупаев, Ю.В. Карпец // Вісник



- Харківського національного аграрного університету. Серія Біологія. - 2010. - В 2 (20). - С. 36-53.
3. Takahashi, T. Polyamines: ubiquitous polycations with unique roles in growth and stress responses / T. Takahashi, J. Kakehi // *Ann Bot.* - 2010. - Jan; 105(1). - P. 1-6.
4. Колупаев, Ю.Е. Салициловая кислота и формирование адаптивных реакций растений на абиотические стрессоры: роль компонентов сигнальной сети / Ю.Е. Колупаев, Т.О. Ястреб, А.К. Поляков, А.П. Дмитриев // *Вестник Томского государственного университета. Биология.* - 2021. - № 55. - С. 135-165.
5. Тютюрев, С.Л. Индуцированный фитоиммунитет (молекулярные механизмы и возможность использования в растениеводстве) Проблемы экспериментальной ботаники / С.Л. Тютюрев. - *Купревичские чтения VI.* - Минск: Тэхнологія, 2007. - С. 5-54.
6. Rosa, M. Soluble sugars-metabolism, sensing and abiotic stress: a complex network in the life of plants / M. Rosa, C. Prado, G. Podazza, R. Interdonato, J.A. González, M. Hilal, F.E. Prado // *Plant Signal Behav.* - 2009. - May; 4 (5). - P. 388-393.
7. Rolland, F. Sugar sensing and signalling networks in plants / F. Rolland, J. Sheen // *Biochem Soc Trans.* - 2005. - Feb. 33 (Pt. 1). - P. - 269-71.
8. Озерецковская, О.Л. Индуцирование устойчивости растений биогенными элиситорами фитопатогенов / О.Л. Озерецковская // *Прикладная биохимия и микробиология.* - 1994. - Т. 30. - В. 3. - С. 325-339.
9. Дьяков, Ю.Т. Пятьдесят лет теории «ген-на-ген» / Ю.Т. Дьяков // *Успехи современной биологии.* - 1996. - Т. 116. - С. 293-305.
10. Дмитриев, А.П. Сигнальные молекулы растений для активации защитных реакций в ответ на биотический стресс / А.П. Дмитриев // *Физиология растений.* - 2003. - Т. 50. - № 3. - С. 465-474.
11. Метлицкий, Л.В. Биохимия иммунитета, покой и старение растений / Л.В. Метлицкий, О.Л. Озерецковская, Н.П. Кораблева и др. - М., 1984. - 264 с.
12. Кулаева, О.Н. Новейшие достижения в изучении механизма действия фитогормонов / О.Н. Кулаева, О.С. Прокопцева // *Биохимия.* - 2004. - Т. 69. - В. 3. - С. 293-310.
13. Кульнев, А.И. Стимуляция устойчивости и активизация ростовых процессов у высших растений полиненасыщенными жирными кислотами как общебиологическое явление / А.И. Кульнев, Е.А. Соколова Е.А. - 1 Всеросс. конфер. по иммунитету растений к болезням и вредителям, посвященная 300-летию Санкт-Петербурга. - Пушкин, 2002. - С. 143-144.
14. Ремпе, Е.Х. Регуляторы роста растений как фактор снижения негативного действия гербицидов / Е.Х. Ремпе, Л.П. Воронина, Л.К. Батурина // *Агрехимия.* - 1999. - № 3. - С. 64-68.
15. Эффективность гербицидов и фунгицидов при совместном применении с антистрессовыми регуляторами роста на зерновых культурах (опыт и рекомендации) / Под ред. акад. У.Г. Усманова и др. - Уфа: Гилем, 2003. - 80 с.
16. Бобрешова, И.Ю. Новый полифункциональный активатор фитоиммунитета и обоснование перспектив его применения на различных сельскохозяйственных культурах. - Дисс. канд. с.-х. наук. Воронеж, 2012. - 199 с.
17. Гаврилов, К.И. Дождевые черви – продуценты БАВ / К.И. Гаврилов // *Общая биология.* - 1963. - № 24. - В. 2. - С. 149-154.
18. Рябчинская, Т.А. К вопросу о сигнальной роли экзогенных аминокислот. Клеточная сигнализация у растений / Т.А. Рябчинская, И.Ю. Бобрешова, Н.А. Саранцева, Г.Л. Харченко. - тез. докл. 3 Межд. симп., Казань, 28 июня-1 июля 2011 г. - Казань, 2011. - С. 163-164
19. Рябчинская, Т.А. Многокомпонентные полифункциональные биостимуляторы роста и развития растений (на примере биопрепарата Стимунол ЕФ) / Т.А. Рябчинская, Г.Л. Харченко, И.Ю. Бобрешова. Н.А. Саранцева. Воронеж. - 2015. - 82 с.
20. Nambara, E. Abscisic acid biosynthesis and catabolism / E. Nambara, A. Marion-Poll // *Annu. Rev. Plant Biol.* - 2005. № 56. - P. 165-185.
21. Рябчинская, Т.А. Полифункциональное действие препарата Альбит при предпосевной обработке семян яровой пшеницы / Т.А. Рябчинская, Г.Л. Харченко, Н.А. Саранцева, И.Ю. Бобрешова, К.М. Злотников // *Агрехимия.* - 2009. - № 10. - С. 39-47.
22. Зими́на, Т.В. Влияние биологического регулятора роста Стивин на продуктивность сельскохозяйственных культур / Т.В. Зими́на: дисс. канд. с.-х. наук. - Воронеж, 2019. - 218 с.
23. Зими́на, Т.В. Маклюра оранжевая – перспективный биопродуцент для разработки полифункционального препарата на основе природных биологически активных компонентов / Т.В. Зими́на, А.А. Деркач // *Мат. межд. научно-практ. конф. Воронеж, 25 февраля 2022 г.* - Ч. 1. - С. 114-120.
24. Бобрешова, И.Ю. Действие регулятора роста растительного происхождения на яровой ячмень / И.Ю. Бобрешова, А.А. Деркач // *Сб. научн. статей по мат. научно-практ. конф. «Фундаментальные и прикладные научные исследования в современном мире».* - Уфа, НИЦ Вестник науки. - 2023. - Ч.1. - С. 240-244.

A new group of biological plant growth regulators and their role in crop production technologies

Ryabchinskaya T.A., Bobreshova I.Yu., Zimina T.V.

Summary. An overview of groups of plant growth regulators and the mechanisms of their action is presented. The effect of biological growth regulators created at VNIIZR, including signaling systems and providing a wide multifunctional effect on plants, such as *Stimmunol*, *Stivin*, *Stimaclure*, is described. The high efficacy of preparates, their prospects and the need to be included in modern agricultural technologies have been proven.

Key words: growth regulator, elicitor, salicylic acid, sucrose, signaling systems, *Stimmunol*, *Stivin*, *Stimaclure*, orange maclure.