

Старт F₁, Полюмя F₁, Даша F₁, Тайник F₁), включенных в Государственный реестр сортов.

В. Л. Налобовой созданы сорта огурца Верасень, Зарница, Свитанок, гибрид Вяселка F₁ для открытого грунта и гибрид Брагинка F₁ для пленочных теплиц с устойчивостью к комплексу болезней: пероноспорозу, оливковой пятнистости, мучнистой росе и бактериозу, а также сорта томата Пралеска, Агат и Изумруд с относительно высокой устойчивостью к фитофторозу, которые включены в Государственный реестр сортов.

В результате совместной работы с селекционерами иммунологи РУП «Институт овощеводства» являются соавторами более 40 включенных в Государственный реестр сортов и гибридов капусты, томата, перца, огурца, моркови столовой, свеклы столовой, пастернака, гороха, фасоли, бобов овощных, укропа.

В настоящее время новое поколение ученых-исследователей успешно занимается разработкой научных идей по иммунитету и защите овощных культур от болезней.

УДК 635.64:631.811.98:631.559.2

Эффективность применения препарата «Иммунакт-ГК, ВСК» на растениях томата в условиях защищенного грунта на гидропонике

С. Н. Шпилевский¹, научный сотрудник,
Л. Ф. Кабашникова¹, доктор биологических наук,
В. И. Лукаша¹, кандидат биологических наук,
Д. В. Войтка², кандидат биологических наук,
Е. Н. Янковская², кандидат биологических наук

¹ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси»,

²РУП «Институт защиты растений»

(Дата поступления статьи в редакцию 27.08.2024)

Изучена эффективность применения регулятора роста «Иммунакт-ГК, ВСК», содержащего β -1,3-глюкан и водорастворимый полимер (ВРП-3) на растениях томата Тореро F1 в условиях малообъемной гидропонике. Показано, что «Иммунакт-ГК, ВСК» вызывает повышение содержания активных форм кислорода (АФК), накопление фенольных соединений на фоне стабилизации перекисного окисления липидов (ПОЛ) и повышения содержания фотосинтетических пигментов в листьях томата, что способствует повышению урожайности в среднем на 7,4 %. Установлены тесные корреляции между содержанием АФК и содержанием каротиноидов, а также между содержанием каротиноидов, АФК и массой плодов.

The effectiveness of using the growth regulator «Immunakt-GK, WSC» containing β -1,3-glucan and water-soluble polymer (WSP-3) on Torero F1 tomato plants under low-volume hydroponics conditions was studied. It has been shown that «Immunakt-GK, WSC» causes an increase in the content of reactive oxygen species (ROS), the accumulation of phenolic compounds against the background of stabilization of lipid peroxidation (LPO) and an increase in the content of photosynthetic pigments in tomato leaves, which contributes to an increase in yield by an average of 7.4%. Close correlations have been established between ROS content and carotenoid content, as well as between carotenoid content, ROS and fruit weight.

Введение

В последнее десятилетие интенсивно проводятся работы по созданию индукторов устойчивости растений на основе метаболитов иммунного ответа. В отличие от фунгицидов, иммуномодуляторы не вызывают привыкания к возбудителям болезней и являются эффективным средством для профилактики большинства заболеваний растений [1].

Индукторы болезнеустойчивости можно охарактеризовать как соединения, стимулирующие сигнальные пути, приводящие к активации генов, реакций защиты и формированию у растений устойчивости к возбудителям грибных, бактериальных и вирусных болезней, которая проявляется в локализации патогена в процессе заражения, блокировании его последующего проникновения, распространения и размножения в

растениях. Такие индукторы делят на аналоги природных молекул (элиситоры) и синтетические, действующие по тому же принципу [2].

В настоящее время природные индукторы устойчивости растений являются предметом активных исследований в области борьбы с вредителями и болезнями растений из-за их универсальности, способности усиливать неспецифическую приобретенную устойчивость (SAR, systemic acquired resistance) и общей низкой токсичности, что обеспечивает лучшую переносимость сельскохозяйственных культур и меньшее количество проблем со здоровьем человека, обычно связанных с химическими средствами защиты [3].

К индукторам болезнеустойчивости растений нового поколения можно отнести глюканы, которые выполняют роль сигнальных молекул, обладают элиситорными свойствами и способны активировать гены

устойчивости, приводящие к синтезу глюканаз и других фитоалексинов [4]. Наибольшее внимание уделяется иммуномодулирующей способности глюканов, имеющих β -конфигурацию глюкозидных связей. Показано, что β -1,3-глюкан вызывает целый спектр различных защитных реакций в растениях разных систематических групп [5]. Обнаружено, что обработка листьев винограда сульфатом β -1,3-глюкана запускает активацию Ca^{2+} -сигнальных путей, накопление АФК, жасмоната и салицилата, MAPKs-активность, индукцию защитных белков (хитиназ и глюконаз), белков, переносящих липиды и синтез фитоалексинов [6]. На основе глюканов трутовика обыкновенного (*Fomes fomentarius*) был создан препарат Микосан, повышающий устойчивость и продуктивность многих сельскохозяйственных культур [7].

В Институте биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси установлены механизмы иммунного ответа в листьях томата при фузариозном увядании, вызванном грибом *Fusarium oxysporum*, на уровне фотосинтетического аппарата и окислительного статуса растений, и защитная роль β -1,3-глюкана в стабилизации структурно-функционального состояния растительных клеток при патогенезе [8].

Целью данного исследования являлось изучение эффективности применения препарата Иммунакт-ГК, ВСК, содержащего β -1,3-глюкан (0,5 %) и водорастворимый полимер (ВРП-3, 8 %), на растениях томата в производственных условиях на малообъемной гидропонике.

Объекты и методика исследований

Исследования эффективности препарата Иммунакт-ГК, ВСК проводили в производственных условиях КУП «Минский парниково-тепличный комбинат» (г. Минск, Беларусь) в 2018 г. на культуре томата сорта Тореро F1, выращиваемой в условиях малообъемной гидропоники на минераловатных субстратах, согласно общепринятым методическим требованиям [9–11].

Регулятор роста Иммунакт-ГК, ВСК представляет собой композицию β -1,3-глюкана (0,5 %) из пекарских дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* (СОЛГАР, США) и полимера ВРП-3 (8 %) (ОАО «Лесохимик», Беларусь). В качестве стандарта был использован регулятор роста Экосил, ВЭ, содержащий тритерпеновые кислоты в концентрации 50 г/л (УП «БелУниверсал Продукт», Беларусь).

Обработку растений регуляторами роста проводили в фазу образования 1-й цветочной кисти методом опрыскивания рабочей жидкостью (р.ж.) из расчета 200 л/га препарата Иммунакт-ГК, ВСК и 300 л/га препарата Экосил, ВЭ. Анализ действия препаратов проводили на листьях 3-го яруса через 8 дней после обработки. Контролем служили растения, выращенные в условиях стандартных защитных мероприятий.

Экстракцию хлорофиллов (Хл) и каротиноидов из листьев производили 99,5%-м ацетоном. Содержание пигментов определяли спектрофотометрическим методом и рассчитывали по формулам, приведенным А. А. Шлык [12].

Фенольные соединения экстрагировали из растительного материала 96%-м спиртовым раствором с добавлением 1%-го раствора соляной кислоты. Содер-



Фото 1 – Внешний вид растений томата сорта Тореро F1 в условиях УП «Минский парниково-тепличный комбинат»



Фото 2 – Обработка растений томата препаратом «Иммунакт-ГК» (фаза образования 1-й цветочной кисти) в условиях малообъемной гидропоники на КУП «Минский парниково-тепличный комбинат»



Фото 3 – Внешний вид растений томата сорта Тореро F1 в период созревания плодов в условиях КУП «Минский парниково-тепличный комбинат»

жание полифенолов в экстрактах определяли спектрометрическим методом, используя реактив Фолина-Чокальтеу [13].

Активность перекисного окисления липидов (ПОЛ) определяли спектрофотометрическим методом по количеству малонового диальдегида (МДА), тестируемого по цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой по методу, представленному М. Н. Мерзляк [14].

Для определения общего уровня активных форм кислорода (АФК) использовали флуоресцентный тест, предложенный в работе С. Р. LeBel [15].

Урожайность анализировали по суммарной массе плодов 10 последовательных выборок, собранных в период массового созревания с площади 40 м².

Статистический анализ данных проведен с использованием Statistica for Windows 6.0. и Excel [11, 16].

Известно, что окислительные процессы играют важную роль в жизнедеятельности растений [17]. С одной стороны, АФК являются сигнальными молекулами и служат триггерами запуска сигнальных путей, координирующих метаболизм в растительной клетке. С другой стороны, при длительном воздействии стрессовых факторов происходит накопление АФК, что может привести к разрушению клеточных структур и гибели растений. Обнаружено, что обработка растений томата препаратами Иммунакт-ГК, ВСК и Экосил, ВЭ вызывает достоверное повышение содержания АФК в листьях, что может указывать на запуск защитных механизмов в растительных клетках (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние регуляторов роста на содержание МДА, АФК и полифенолов в листьях томата Тореро F1

Вариант	Содержание АФК (ДХФ, отн.ед.)	Содержание МДА, нмоль/ мг сырой массы	Содержание полифенолов, мг-экв.ГК/г сырой массы
Контроль	349,9±9,2	3,31±0,04	2,80±0,21
Иммунакт-ГК, ВСК (2%)	431,4±7,5*	2,92±0,07	5,95±0,80*
Иммунакт-ГК, ВСК (1%)	432,9±8,4*	2,63±0,05*	4,32±0,61*
Экосил, ВЭ (1%)	413, 9±9,9*	2,65±0,04*	3,00±0,01

* Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

При этом активность ПОЛ снижалась относительно контрольного уровня (таблица 1), что отражает стабилизацию окислительных процессов под действием использованных препаратов. Известно, что фенольные антиоксиданты эффективно связывают кислородные супероксидный и гидроксильный радикалы и ингибируют индуцируемое ими ПОЛ [17]. В наших исследованиях уровень фенольных соединений в листьях томата возрастал в 1,5–2 раза под действием препарата Иммунакт-ГК, ВСК (таблица 1), что указывает на развитие защитных реакций в ответ на его действие.

Устойчивость фотосинтетического аппарата играет важнейшую роль в продукционном процессе и защите растений от действия стрессоров. Одним из главных показателей фотосинтетической деятельности растений является содержание пластидных пигментов [18]. Анализ пигментного состава листьев томата показал, что препарат Иммунакт-ГК, ВСК стимулирует накопление Хл и каротиноидов в единице площади листа (таблица 2), тогда как Экосил, ВЭ оказывал положительное влияние только на содержание каротиноидов.

Таблица 2 – Влияние регуляторов роста на содержание фотосинтетических пигментов (мкг/см²) в листьях томата Тореро F1

Вариант	Хл а	Хл b	Хл (a+b)	Каротиноиды
Контроль	20,98±0,73	6,83±0,48	27,81±0,21	6,61±0,15
Иммунакт-ГК, ВСК (2%)	24,26±0,62*	7,76±0,15	32,02±0,44*	7,51±0,16*
Иммунакт-ГК, ВСК (1%)	23,27±0,23*	8,43±0,10*	31,70±0,33*	7,36±0,13*
Экосил, ВЭ (1%)	21,17±0,49	7,42±0,41	28,59±0,59	7,42±0,16*

* Различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

Учеты урожайности томата в период массового плодоношения в зимне-осеннем культурообороте показали, что масса плодов 10 последовательных сборов в варианте с препаратом Иммунакт-ГК, ВСК была на 6,8–7,8 % больше, чем в контроле, а в варианте с Экосил, ВЭ – на 5,8 % больше (таблица 3). В весенне-осеннем культурообороте получена прибавка урожая томатов на 6,9–7,7 % в результате применения препарата Иммунакт-ГК, ВСК и на 5,9 % – под действием Экосил, ВЭ (таблица 3).

Проведенный корреляционный анализ между биохимическими показателями и

Таблица 3 – Влияние иммуномодулирующих препаратов на урожайность растений томата сорта Тореро F1 в период массового плодоношения (КУП «Минский парниково-тепличный комбинат», полевой опыт, 2018 г.)

Вариант	Суммарная масса плодов 10 последовательных выборок, кг	
	зимне-осенний культурооборот	весенне-осенний культурооборот
Иммунакт, ВСК 2%-я р.ж.	299,6	370,8
Иммунакт, ВСК 1%-я р.ж.	302,2	368,1
Экосил, ВЭ 1%-я р.ж.	296,8	364,6
Контроль – без обработки	280,4	344,2
HCP ₀₅	4,5	3,6

урожайностью томата (таблица 4) выявил тесные положительные корреляционные взаимосвязи между содержанием АФК и содержанием каротиноидов ($r = 0,97$); между содержанием каротиноидов и массой плодов

($r = 0,95-0,98$), а также между содержанием АФК и массой плодов ($r = 0,99$), что указывает на высокую значимость этих биохимических параметров для формирования урожайности культуры.

Таблица 4 – Влияние препаратов Иммунакт-ГК, ВСК и Экосил, ВЭ на корреляционные взаимосвязи (r) между биохимическими показателями и урожайностью томата

Показатель	Содержание МДА, нмоль/мг с.м.	Содержание АФК (ДХФ, отн. ед.)	Содержание полифенолов, мг-экв. ГК/г с.м.	Содержание Хл ($a+b$), мкг/см ²	Содержание каротиноидов, мкг/см ²	Масса плодов в ЗО КО, кг	Масса плодов в ВО КО, кг
Содержание МДА нмоль/мг с.м.	1,00	-0,07	0,85	0,16	-0,31	-0,01	-0,18
Содержание АФК (ДХФ, отн. ед.)	-0,07	1,00	0,26	0,83	0,97	0,99	0,99
Содержание полифенолов, мг-экв. ГК/г с.м.	0,85	0,26	1,00	0,20	0,07	0,34	0,15
Хл ($a+b$), мкг/см ²	0,16	0,83	0,20	1,00	0,70	0,81	0,82
Каротиноиды, мкг/см ²	-0,31	0,97	0,07	0,70	1,00	0,95	0,98
Масса плодов в ЗО КО, кг	-0,01	0,99	0,34	0,81	0,95	1,00	0,98
Масса плодов в ВО КО, кг	-0,18	0,99	0,15	0,82	0,98	0,98	1,00

Примечание. ЗО КО – зимне-осенний культурооборот; ВО КО – весенне-осенний культурооборот. Выделенные значения достоверны при $p \leq 0,05$.

Выводы

Установлено, что препарат Иммунакт-ГК, ВСК на основе β -1,3-глюкана проявляет многостороннее положительное действие на растения томата, выращенные в условиях гидропоники в защищенном грунте. Препарат способствует генерации АФК, выполняющих сигнальную функцию и запускающих внутриклеточные защитные механизмы на фоне стабилизации активности ПОЛ в листьях томата. Обнаружен стимулирующий эффект на накопление фотосинтетических пигментов (Хл и каротиноидов) и фенольных соединений в листьях томата, что имеет существенное значение для повышения продуктивности и устойчивости растений. В результате применения препарата Иммунакт-ГК, ВСК получена прибавка урожайности плодов 6,8–7,8 % что превышает эффективность препарата Экосил, ВЭ. Установлены тесные положительные корреляционные взаимосвязи между содержанием АФК и содержанием каротиноидов, а также между содержанием каротиноидов, АФК и массой плодов, что указывает на значимость этих биохимических параметров для формирования урожайности культуры. В целом, полученные результаты создают научную основу для использования Иммунакт-ГК, ВСК для повышения урожайности растений томата в тепличных хозяйствах.

Литература

1. Природные индукторы устойчивости растений к фитопатогенам: научные и практические аспекты применения / Л. Ф. Кабашникова [и др.]. – Минск: Белорус. наука, 2021. – 58 с.
2. Кабашникова, Л. В. Иммуитет сельскохозяйственных растений и возможности его корректировки / Л. В. Кабашникова // Наука и инновации. – 2022. – № 2. – С. 36–40.
3. Priming of plant resistance by natural compounds. Hexanoic acid as a model / P. Aranega-Bou [et al.] // Front. Plant Science. – 2014. – Vol. 5. – P. 1–12.
4. Riseh, R. S. β -glucan-induced disease resistance in plants: A review. / R. S. Riseh, M. G. Vazvani, J. F. Kennedy // Int J Biol Macromol. – 2023. – Vol. 253, № 4. – P. 127043.
5. Fesel, P. H. β -glucan: a crucial component of the fungal cell wall and elusive MAMP in plants / P. H. Fesel, A. Zuccaro // Fungal Genetics and Biology. – 2016. – Vol. 90. – P. 53–60.
6. Recognition of Elicitors in Grapevine: From MAMP and DAMP Perception to Induced Resistance. / M. C. Héloir [et al.] // Front Plant Science. – 2019. – Vol. 10. – Article 1117.
7. Горовой, Л. Ф. Фунгицидные свойства глюканов высших базидиальных грибов / Л. Ф. Горовой, И. А. Трутнева // Перспективы и проблемы развития биотехнологии в рамках единого экономического пространства стран Содружества: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск – Нарочь, 25–28 мая 2005 г. / сост. и общ. ред. А. Н. Евтушенко. – Минск: РИВШ, 2005. – С. 227.
8. β -1,3-glucan effect on the photosynthetic apparatus and oxidative stress parameters of tomato leaves under fusarium wilt / L. F. Kabashnikova [et al.] // Functional Plant Biology. – 2020. – Vol. 47, № 11. – P. 988–997.
9. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, Институт защиты растений; ред. С. Ф. Буга. – Несвиж: Несвижская укрупненная типография им. С. Будного, 2007. – 508 с.
10. Методические указания по проведению регистрационных испытаний биопрепаратов для защиты растений от вредителей и болезней / Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию; сост.: Л. И. Прищепа, Н. И. Микельская, Д. В. Войтка. – Несвиж: Несвижская укрупненная типография им. С. Будного, 2008. – 56 с.
11. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – 5-е изд. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
12. Шлык, А. А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А. А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений. Наука. – 1971. – С. 154–170.
13. Singleton, V. L. Analysis of total phenolics and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent / V. L. Singleton, A. Part, L. Packer // Methods in Enzymology. Oxidants and Antioxidants. – 1999. – Vol. 299. – P. 152–178.
14. Мерзляк, М. Н. Активированный кислород и окислительные процессы в мембранах растительной клетки / М. Н. Мерзляк // Итоги науки и техники. Сер. Физиология растений. – М.: ВИНТИ, 1989. – Т. 6. – 168 с.
15. LeBel, C. P. Evaluation of the probe 2',7' – dichlorofluorescein as an indicator of reactive oxygen species formation and oxidative stress / C. P. LeBel, H. Ischiropoulos, S. C. Bondy // Chem. Res. Toxicol. – 1992. – Vol. 5, № 2. – P. 227–231.
16. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – 3-е изд., испр. – Минск: Вышэйш. шк., 1973. – 320 с.
17. Активные формы кислорода и компоненты антиоксидантной системы – участники метаболизма растений. взаимосвязь с фенольным и углеводным обменом / К. М. Никерова [и др.] // Труды Карельского научного центра РАН. – 2021. – № 3. – С. 5–20.
18. Кабашникова, Л. Ф. Фотосинтетический аппарат и потенциал продуктивности хлебных злаков / Л. В. Кабашникова. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 327 с.