

Под влиянием микроэлементов этот показатель увеличился на 13,4–29,0 %, а проведения полупаровой обработки почвы с последующим дождевым боронованием посевов – на 19,2 %.

На фоне применения высокоэффективных гербицидов отвалная и безотвальная вспашка, мелкая обработка и прямой посев в необработанную почву не оказывали существенного влияния на урожайность зерна люпина узколистного.

Литература

- Булавин, Л. А. Агроэкономические основы ресурсосберегающего и природоохранного земледелия в Беларуси / Л. А. Булавин, А. П. Гвоздов, А. Ч. Скируха. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 220 с.
- Последствие гербицида ларен на люпин узколистный / Л. А. Булавин [и др.] // Вестник БГСХА. – 2009. – № 1. – С. 74–77.
- Булавин, Л. А. Совершенствование мер борьбы с сорняками в посевах люпина узколистного / Л. А. Булавин, С. С. Небышинец, М. В. Евсеев // Аналитический обзор. – Несвиж, 2007. – 28 с.
- Эффективность агротехнических и химических мер борьбы с сорняками в посевах люпина узколистного / Л. А. Булавин [и др.] // Проблемы сорной растительности и методы борьбы с ней: матер. междунауч.-практ. конф., посв. 70-летию со дня рождения Н. И. Протасова / Колл. авт. – Горки: БГСХА, 2004. – С. 21–23.
- Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 293 с.
- Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 415 с.
- Запрудский, А. А. Методы учета и пороги вредоносности вредителей, болезней и сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур: справочник // РУП «Институт защиты растений»; под ред. А. А. Запрудского, Е. А. Якимович. – Минск: Колоград, 2022. – 59 с.
- Земледелие: учебник / под ред. Г. И. Баздырева. – М.: ИНФРА-М, 2013. – С. 108.
- Небышинец, С. С. Люпин узколистный в системе бесплужного земледелия / С. С. Небышинец, Н. А. Понедьков // Наше сельское хозяйство. – 2015. – № 3 (Агрономия). – С. 37–41.
- Влияние подпахотного рыхления почвы на урожайность зерна люпина узколистного / Д. Г. Симченков [и др.] // Технологии и приемы производства экологически безопасной продукции растениеводства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 10-летию со дня создания Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию (14–15 апреля 2016 г., г. Жодино) / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, редкол.: Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016. – С. 35–38.
- Симченков, Д. Г. Влияние способов обработки почвы на продуктивность звена зернового севооборота / Д. Г. Симченков, А. П. Гвоздов, Л. А. Булавин // Світові рослинні ресурси: стан та перспективи розвитку: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 7 червня 2019 р. / М-во аграр. політики та прод. України, Укр. ін-т експертизи сортів рослин. – Вінниця: Нілан-ЛТД, 2019. – С. 229–231.
- Использование гербицидов в посевах люпина узколистного / А. С. Шик [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр. / редкол.: М. А. Кадыров (гл. ред.) [и др.]; НАН Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию. – Минск: УП «ИВЦ Минфина», 2009. – Вып. 45. – С. 56–63.
- Агротехнические особенности технологии возделывания люпина узколистного в Республике Беларусь / В. Ч. Шор [и др.] // Земледелие и защита растений, приложение к журналу. – 2020. – № 1. – С. 13–20.

УДК 581.19:632.3

Влияние 24-эпибрассинолида в сочетании с салициловой кислотой и метилжасмонатом на продуктивность и качество мини-клубней картофеля в стрессовых условиях

Н. В. Балюк, научный сотрудник, Н. А. Ламан, доктор биологических наук, Ж. Н. Калацкая, кандидат биологических наук
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси

(Дата поступления статьи в редакцию 21.01.2023)

Исследовано действие эпибрассинолида в сочетании с салициловой кислотой и метилжасмонатом на количество и массу мини-клубней картофеля, содержание в них сухого вещества, крахмала и аскорбиновой кислоты. Выявлено синергетическое взаимодействие в оптимальных условиях выращивания смесей эпибрассинолида с салициловой кислотой и метилжасмонатом по отношению к вирусной инфекции, заключающееся в повышении продуктивности и качества получаемых мини-клубней. В условиях совокупного действия водного дефицита и биотического стресса обработка эпибрассинолидом снижала степень заражения Y-вирусом картофеля при сохранении продуктивности на уровне инфицированных растений и улучшала качество продукции. Вместе с тем, обработка трехкомпонентной смесью сопровождается наибольшей массой и количеством получаемых мини-клубней, однако защитное действие против вирусной инфекции в этом варианте опыта не проявлялось.

The effect of epibrassinolide in combination with salicylic acid and methyl jasmonate on the number and weight of potato mini-tubers, its content of dry matter, starch and ascorbic acid was studied. A synergistic interaction was revealed under optimal growing conditions for mixtures of epibrassinolide with salicylic acid and methyl jasmonate in relation to a viral infection, which consists in increasing the productivity and quality of the obtained mini-tubers. Under the combined action of water deficit and biotic stress, treatment with epibrassinolide reduced the degree of potato virus Y infection while maintaining productivity at the level of infected plants and improved product quality. At the same time, treatment with a three-component mixture provides the largest mass and number of mini-tubers obtained, however, a protective effect against viral infection was not manifested in this variant of the experiment.

Введение

Выращивание и реализация картофеля (*Solanum tuberosum* L.) является важнейшей составной частью современного агропродовольственного рынка нашей страны. Он служит ценным источником углеводов, белков, антиоксидантов, витаминов и сырьем для производства крахмала [1]. Однако в производственных условиях картофеля поражается многими вирусными болезнями. Кроме того, растения одновременно или последовательно подвергаются и неблагоприятным воздействиям абиотической природы, что может существенно повлиять на формирование защитных реакций к стрессовым факторам.

Наиболее опасным вирусом в настоящее время считается YVK (Y-вирус картофеля), который способен вызывать до 90 % потери урожая картофеля в зависимости от региона, сорта и факторов окружающей среды [2]. Кроме того, рост и развитие растений, формирование урожая клубней в значительной степени зависят от влажности почвы [3]. Снижение водности тканей нарушает многие физиологические и биохимические процессы, вызывает осмотический и окислительный стресс, ионный дисбаланс. Продолжительный водный дефицит, особенно в период бутонизации и до конца цветения, не только ослабляет растения, но и делает их более уязвимыми для ряда других болезней, что значительно снижает продуктивность и качество продукции.

Одним из направлений повышения устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям является применение препаратов, обладающих антистрессовыми и иммуностимулирующими свойствами, которые не только подавляют развитие возбудителей болезней, но и повышают биологическую и хозяйственную продуктивность. Развитие клубней картофеля представляет собой сложный биологический процесс, требующий согласованного взаимодействия эндогенных и внешних факторов. Показано, что соединения с иммуностимулирующей активностью играют важную роль в регуляции процессов клубнеобразования [4]. При этом одно и то же соединение может по-разному влиять на разных этапах формирования клубней [5].

В то же время об эффективности использования иммуностимуляторов в системе оригинального семеноводства картофеля в научной литературе недостаточно данных. В связи с этим существует необходимость широкого изучения использования при выращивании растений картофеля препаратов, способствующих стимулированию иммунной системы и процессов клубнеобразования, повышению качества получаемой продукции.

В связи с этим целью данной работы являлось изучение влияния 24-эпибрасинолида (ЭБЛ) с салициловой кислотой (СК) и метилжасмонатом (МеЖ) на степень вирусного заражения, количество и массу мини-клубней, а также на содержание в них сухого вещества, крахмала и аскорбиновой кислоты при вирусном заражении в оптимальных почвенных условиях и водном дефиците.

Материалы и методы исследований

В экспериментах использовали микроклонально размноженные растения картофеля сорта Бриз. Адаптацию на этапе *ex vitro* осуществляли в течение недели

в пластиковых контейнерах с крышками 21 × 21 × 8 см, содержащие почвогрунт из верхового торфа торговой марки Двина (ТУ РБ 100219992.326–2004). Растения выращивали при температуре 20–21 °С, освещенности 12000 люкс и фотопериоде 16/8 часов (день/ночь). Адаптированные 2-недельные растения обрабатывали путём опрыскивания листовой поверхности различными вариантами смесей ЭБЛ в концентрации 10⁻⁷ М с МеЖ – 1 × 10⁻⁷ М и/или СК – 1 × 10⁻⁶ М. Искусственное заражение вирусом YVK проводили путём механической инокуляции клеточным соком растений доноров при помощи мелкозернистой наждачной бумаги через 3-е суток после обработки иммуностимуляторами. Регулирование условий почвенной засухи (40–45 % от ПВ) начинали через 3-е суток после заражения.

Через 2 недели выращивания растительный материал фиксировали в жидком азоте и оценивали влияние иммуностимуляторов на антивирусную активность, после чего через 2,5 месяца изучали показатели продуктивности и качества получаемых мини-клубней. Наличие YVK определяли с помощью иммуноферментного анализа (ИФА) согласно инструкции [6]. Определение сухого вещества клубней производили гравиметрическим методом. Содержание крахмала определяли согласно методу [7], аскорбиновую кислоту – по кинетике восстановления 2,6-дихлор-фенолиндофенолом [8].

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью общепринятых методов, используя для расчетов и построения графиков MS Excel. Каждый опыт проводили в трех биологических и трех аналитических повторностях. На гистограммах показаны средние арифметические значения с доверительными интервалами с уровнем надежности P = 0,05.

Результаты исследований и их обсуждение

Сравнительный анализ полученных данных выявил различия в степени заражения YVK листьев картофеля при обработке смесями иммуностимуляторов. Во всех исследуемых вариантах в оптимальных условиях выращивания отмечалось снижение вирусного поражения по отношению к инфицированному контролю. Смеси иммуностимуляторов ЭБЛ + СК и ЭБЛ + МеЖ проявляли наибольшую антивирусную активность, что способствовало уменьшению накопления YVK в листьях картофеля на 41 % и 43 % соответственно по сравнению с инфицированным контролем (рисунок 1). Ранее установлено, что брассиностероиды (БС) и жасмоновая кислота (ЖК) при взаимном влиянии повышает устойчивость к вирусу полосатости риса, и сигнальный путь ЖК необходим для БС-опосредованной устойчивости к вирусу у риса [9]. Предполагают также, что пересечение сигнальных путей БС и салициловой кислоты обусловлено тем, что в трансдукции сигналов обоих фитогормонов задействован белок NPR1 [10].

Главным показателем эффективности размножения безвирусного материала является выход клубней с одного растения, который определяется не только генотипическими особенностями сорта, но и условиями, возникающими во время вегетации. Наши наблюдения показали, что при выращивании инфицированных YVK растений в условиях оптимальной влажности почвы обработки не вызвали увеличения количества мини-клубней с единицы площади и их диаметра (таблица 1).

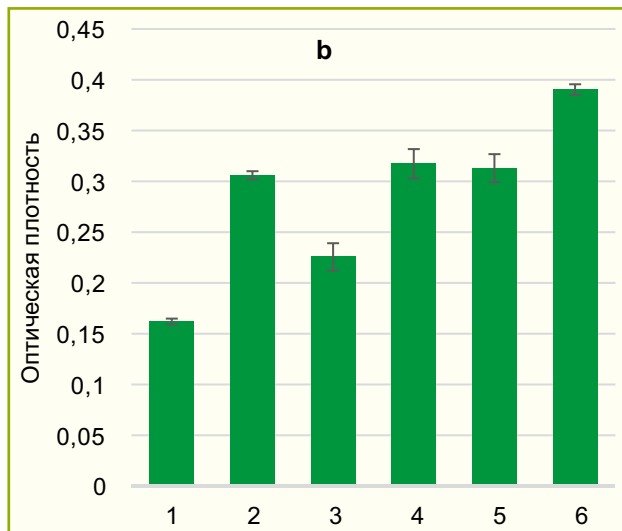
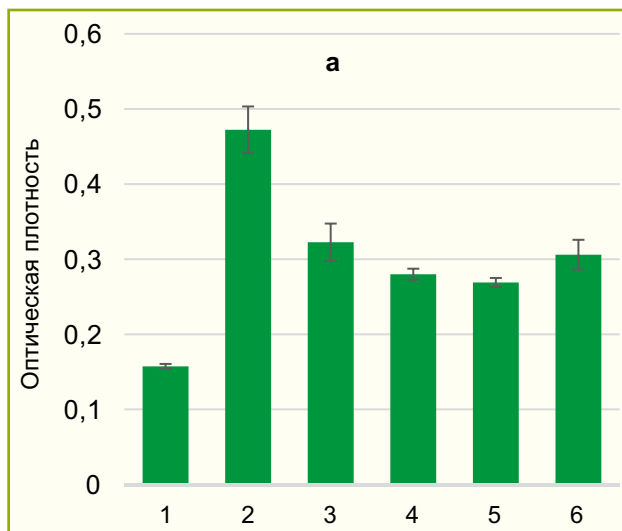


Рисунок 1 – Антивирусная активность в листьях инфицированных растений картофеля при обработке иммуностимуляторами в оптимальных почвенных условиях (а) и водном дефиците (б)
 1 – контроль; 2 – YVK; 3 – ЭБЛ; 4 – ЭБЛ + СК; 5 – ЭБЛ + МеЖ; 6 – ЭБЛ + СК + МеЖ

Наиболее значительное повышение общей массы и средней массы одного мини-клубня зафиксировано в вариантах с обработкой ЭБЛ + МеЖ и ЭБЛ + СК + МеЖ. Известно, что МеЖ является одним из важных фитогормонов, регулирующих формирование клубней картофеля.

Показано, что стимулирующий эффект низкой концентрации ЖК на развитие клубней проявляется в двух клеточных процессах: регулировании экспрессии генов, связанных с синтезом полисахаридов клеточной стенки и формированием цитоскелета; перераспределении источников углерода и потока энергии для обеспечения синтеза промежуточных продуктов метаболизма, необходимых для развития клубней [4]. Следует отметить, что влияние МеЖ на клубнеобразование картофеля является сортоспецифичным – обработка растений картофеля сорта Гранола МеЖ приводит к уменьшению количества клубней, но увеличивает размер и массу [11]. В работе [12] сообщалось, что обработка растений картофеля сорта Удача СК повышала продуктивность на 20 % за счёт увеличения массы клубней, а не их количества, что согласуется с нашими данными.

Также изучено влияние иммуностимуляторов в оптимальных условиях выращивания на качество мини-клубней картофеля при вирусном заражении. Повышение содержания крахмала и сухого вещества регистрировали при обработках ЭБЛ + СК и ЭБЛ + МеЖ (таблица 1). В работе [13] показано, что заражение растений картофеля фитоплазмой и последующая обработка СК увеличи-

вала площадь листьев, содержание сухого вещества и крахмала в клубнях, что соответствует полученным результатам.

Важнейшим природным антиоксидантом является витамин С, который принимает участие в ряде биохимических процессов. Известно, что клубни картофеля содержат до 20 мг% витамина С. Витамин С в клубнях картофеля находится в основном в форме аскорбиновой и незначительно дегидроаскорбиновой кислот. Содержание аскорбиновой кислоты зависит от сортовых особенностей, внешних факторов и технологии ухода во время вегетации картофеля. Заражение растений вирусом YVK вызвало повышение содержания аскорбиновой кислоты на 12 % по сравнению с неинфицированными растениями (рисунок 2). Накопление аскорбиновой кислоты отмечено в варианте с обработкой ЭБЛ + СК по сравнению с инфицированными контролями, что может быть связано с её участием в окислительно-восстановительных реакциях, направленных на утилизацию избытка АФК, вызванных вирусом. Ранее показано, что повышенный уровень аскорбиновой и дегидроаскорбиновой кислот зарегистрирован в растениях репы (*Brassica rapa*) при вирусном заражении мозаикой турнепса, при этом распространение вируса из очагов заражения с высоким содержанием аскорбиновой кислоты происходило медленнее [14].

Для растений картофеля свойственно слабое развитие корневой системы, поэтому представляло интерес изучение продуктивности растений картофеля

Таблица 1 – Влияние ЭБЛ с МеЖ и СК на продуктивность мини-клубней картофеля в условиях вирусного заражения

Вариант	Количество клубней, шт.		Масса клубней, г		Диаметр клубня, мм	Содержание крахмала, %
	на контейнер	на растение	на контейнер	одного		
Контроль	34,8 ±2,1	3,9 ±0,4	420,0 ±33,1	12,0 ±0,5	31,2 ±2,3	12,1 ±0,8
YVK	36,7 ±2,8	4,1 ±0,3	377,4 ±35,6	10,2 ±0,4	29,0 ±2,1	11,5 ±0,1
ЭБЛ	31,2 ±2,2	3,4 ±0,2	387,5 ±28,8	12,5 ±0,5	31,0 ±2,7	12,31 ±0,3
ЭБЛ + СК	35,9 ±3,0	4,0 ±0,2	489,6 ±30,2	13,6 ±0,6	30,2 ±1,8	13,21 ±0,7
ЭБЛ + МеЖ	35,2 ±1,9	3,9 ±0,2	500,5 ±25,9	14,3 ±0,6	31,3 ±2,0	15,26 ±0,2
ЭБЛ + СК + МеЖ	30,0 ±2,4	3,3 ±0,3	489,0 ±32,3	16,3 ±0,8	31,8 ±2,6	12,21 ±0,1

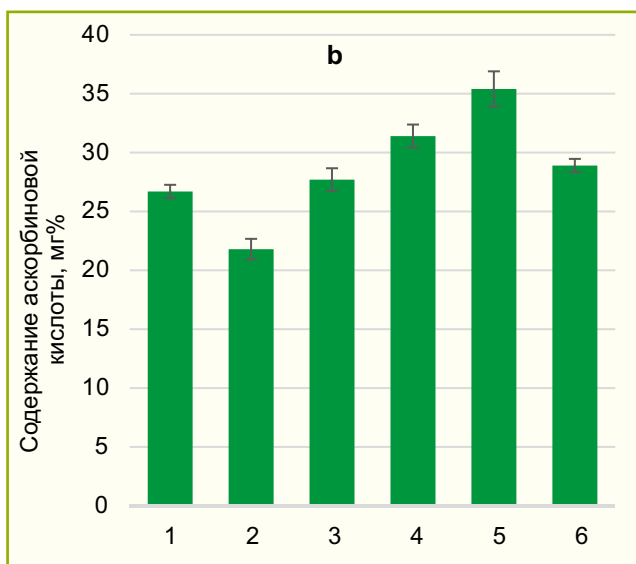
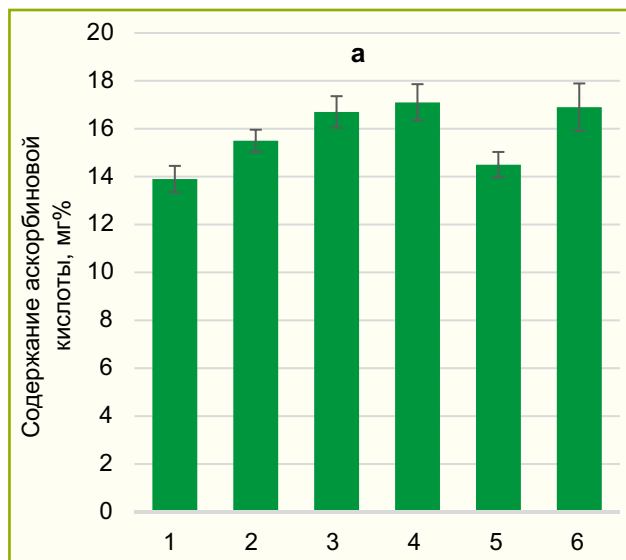


Рисунок 2 – Содержание аскорбиновой кислоты в мини-клубнях картофеля на фоне вирусного заражения в оптимальных почвенных условиях (а) и водном дефиците (б) при обработке иммуностимуляторами
 1 – контроль; 2 – YVK; 3 – ЭБЛ; 4 – ЭБЛ + СК; 5 – ЭБЛ + МеЖ; 6 – ЭБЛ + СК + МеЖ

в условиях вирусного заражения и недостатка влаги. Полученные результаты свидетельствуют о том, что дефицит почвенной влаги привел к снижению степени заражения YVK на 35,2 % у инфицированных растений по отношению к развитию инфекции в оптимальных условиях выращивания. Показано, что недостаток влаги негативно влияет на транслокацию вируса в растениях. Например, засуха путем активации аутофагии подавляет в растениях томата распространение вируса желтой курчавости листьев [15]. Более того, обнаружено, что повышенная интенсивность засухи снижает вирусную инфекцию в листьях фасоли [16]. Это указывает, что уровень водного дефицита имеет важное значение при взаимодействии растений и вирусов. В условиях дефицита влаги только при использовании ЭБЛ наблюдалось снижение степени заражения на 27,3 %. Сообщалось, что применение ЭБЛ вызывало снижение развития вируса огуречной мозаики путем индукции защитных генов, при этом обработка растений огурца ингибитором синтеза brassinolide, наоборот, способствовала развитию вирусной болезни [17]. Применение смесей ЭБЛ + СК и ЭБЛ + МеЖ не вызывало достоверно значимых отличий по содержанию вирусных частиц в сравнении с зараженным контролем, что, вероятно, связано с ингибированием ЭБЛ экспрессии генов, отвечающих за салицилат- и жасмонат-зависимые ответы. В исследовании [18] антагонистические взаимодействия были продемонстрированы на растениях риса при экзогенной

обработке ЭБЛ против галловой нематоды и выражались в подавлении двух основных генов OsAOS2 и OsJAMYB жасмонат-индуцируемого сигнального пути. Также отмечено, что применение БС против *Pythium graminicola* препятствует эффективной защите, опосредованной СК, нарушая экспрессию основных генов защиты OsNPR1 и OsWRKY45 [19]. Применение трёхкомпонентной смеси – ЭБЛ с СК и МеЖ приводило к накоплению вируса YVK в листьях картофеля.

При выращивании картофеля сорта Бриз в условиях вирусного заражения и водного дефицита обработки иммуностимуляторами активировали образование мини-клубней в сравнении с их количеством у здоровых и инфицированных контрольных растений (таблица 2). Максимальное количество получаемых мини-клубней наблюдалось в варианте с использованием трёхкомпонентной смеси – ЭБЛ + СК + МеЖ – на 34 % больше, чем в зараженном контроле. Повышение коэффициента размножения клубней на 13–15 % было зафиксировано у раннеспелых и среднеранних сортов картофеля при опрыскивании СК в концентрации 25–50 мг/мл [20]. Известно, что МеЖ обладает сильной индукционной активностью клубнеобразования, о чем свидетельствует его повышенное содержание в столонах картофеля на ранних этапах инициации. Одним из путей благоприятного влияния МеЖ на инициацию клубней является направление клеточных делений на радиальное разрастание верхушек столонов. Выяснено, что МеЖ ориентирует

Таблица 2 – Продуктивность растений картофеля в условиях вирусного заражения и недостатка влаги при обработке ЭБ с СК и МеЖ

Вариант	Количество клубней, шт.		Масса клубней, г		Диаметр клубня, мм	Содержание крахмала, %
	на контейнер	на растение	на контейнер	одного		
Контроль	29,8 ±1,5	3,3 ±0,1	378,0 ±21,2	12,6 ±0,7	29,1 ±2,0	12,9 ±0,78
YVK	31,2 ±2,0	3,4 ±0,1	337,9 ±18,9	10,9 ±0,5	27,2 ±2,2	12,6 ±0,10
ЭБЛ	39,3 ±2,7	4,3 ±0,2	429,0 ±25,5	11,0 ±0,3	28,5 ±1,8	14,2 ±0,29
ЭБЛ + СК	39,9 ±2,8	4,4 ±0,3	416,0 ±23,0	10,4 ±0,3	26,9 ±2,6	12,1 ±0,69
ЭБЛ + МеЖ	39,0 ±3,1	4,3 ±0,2	382,2 ±22,6	9,8 ±0,3	27,0 ±2,0	13,3 ±0,20
ЭБЛ + СК + МеЖ	45,6 ±3,5	5,1 ±0,4	460,0 ±31,2	10,0 ±0,4	27,9 ±1,9	11,8 ±0,11

кортикальные микротрубочки аналогично униконазолу, и его участие в делении клеток столона противоположно действию гибберелловой кислоты [5]. Ранее показано, что вирус мозаики костра и вирус табачной мозаики, вирус мозаики огурца и вирус погремковости табака повышают засухоустойчивость растений за счет накопления осмопротекторов и антиоксидантов, содержания абсцизовой кислоты и СК [21].

Применение ЭБЛ в смеси с СК и МеЖ способствовало значительному повышению массы получаемых мини-клубней по сравнению инфицированным контролем. Наибольшее увеличение массы мини-клубней – на 20,4 % было отмечено в варианте ЭБЛ с СК, что, вероятно, связано с усиленной транслокацией сахара из листьев в клубни. В исследованиях на перце [22] и кукурузе [23] показано, что опрыскивание растений СК вызывало повышение инвертазной активности, накопление фотоассимилятов в плодах, тем самым увеличивая массу плодов.

Важный элемент урожайности, который регламентируется на семенной картофель, – размер клубней по наибольшему поперечному диаметру. Для мини-клубней, как правило, он составляет 9–60 мм. Кроме того, маленькие мини-клубни показывают большие потери при хранении и пониженную продуктивность в поле. В контрольных неинфицированных растениях получены максимальные значения по диаметру и средней массе одного мини-клубня по отношению к зараженным растениям. Обработки иммуностимуляторами не оказали достоверного влияния на данные показатели. Вирусное заражение в условиях водного дефицита вызывает уменьшение диаметра и снижение средней массы одного мини-клубня во всех исследуемых вариантах, что может свидетельствовать о нарушении углеводного обмена и транспорта ассимилятов в клубни. Показано, что при инфицировании вирусом растений картофеля происходило блокирование транспорта углеводов из хлоропластов в цитозоль и нарушение загрузки флоэмы [24].

В условиях водного дефицита накопление сухого вещества и крахмала в мини-клубнях картофеля отмечено только в варианте с ЭБЛ, на 12 % больше, чем в инфицированных (таблица 2). Ранее сообщалось [25], что в условиях закрытого грунта обработка ЭБЛ растений картофеля сортов Удача и Рэд Скарлетт способствовала увеличению урожайности и повышению качества получаемой продукции за счет накопления сухого вещества и крахмала, что согласуется с нашими результатами.

В условиях совокупно действующих факторов – вирусного заражения и недостатка влаги регистрировали достоверное снижение содержания аскорбиновой кислоты по сравнению с неинфицированным контролем. Во всех исследуемых вариантах при обработке иммуностимуляторами происходило накопление аскорбиновой кислоты, при этом наиболее значительное повышение – на 39 % отмечено в варианте обработкой ЭБЛ + МеЖ. Было обнаружено, что увеличение содержания аскорбиновой кислоты в трансгенных растениях картофеля сопровождалось повышенной толерантностью к различным абиотическим стрессам [26]. Так, в условиях абиотического стресса опрыскивание растений томата СК способствовало накоплению аскорбиновой кислоты и снижало неблагоприятное его воздействие [27]. Отмечено участие МеЖ в регуляции накопления аскорби-

новой кислоты. Так, при заражении растений вирусом турнепса было зафиксировано увеличение содержания аскорбиновой кислоты, опосредованной МеЖ, что коррелировало со степенью устойчивости к вирусу [28]. Показано усиление транскрипции генов, участвующих в биосинтезе аскорбиновой кислоты под влиянием МеЖ, что приводит к накоплению и увеличению поступления ее восстановленной формы для поддержания окислительно-восстановительного баланса растительных клеток [29]. В то же время отмечается положительное влияние аскорбиновой кислоты на индукцию клубнеобразования [30], что в целом согласуется с нашими результатами.

Наряду с этим, накопление аскорбиновой кислоты при обработке иммуностимуляторами, вероятно, способствует снижению стрессовой нагрузки в клубнях картофеля, оказывая антиоксидантное действие и повышая коэффициент размножения.

Заключение

При вирусном заражении растений картофеля в условиях оптимальной влажности почвы обработка смесью метилжасмоната с эпибрасинолидом обеспечивает большую продуктивность и улучшение качества полученных мини-клубней (повышение содержания сухого вещества, крахмала и аскорбиновой кислоты) по сравнению с инфицированным контролем.

В результате проведенных исследований впервые установлено, что при выращивании растений картофеля в условиях совокупно действующих факторов – вирусного заражения и недостатка влаги при обработке иммуностимуляторами наблюдается увеличение количества мини-клубней, однако их общая масса снижается. Обнаружено, что антивирусная устойчивость формируется только в присутствии эпибрасинолида при сохранении продуктивности на уровне инфицированных растений и повышении качества продукции. Вместе с тем применение трёхкомпонентной смеси сопровождается наибольшей массой и количеством получаемых мини-клубней, при этом её защитное действие против вирусной инфекции не проявляется.

Таким образом, применение иммуностимуляторов является перспективным приемом, позволяющим повысить коэффициент размножения мини-клубней и снизить стрессовую нагрузку на растения.

Литература

- Петрович, Э. А. Белорусский рынок картофеля: состояние и перспективы / Э. А. Петрович, М. З. Фрейдин // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3. – С. 244–254.
- Interactive effects of Potato virus Y and Potato leafroll virus infection on potato yields in Uganda / A. A. Byarugaba [et al.] // Open Agriculture. – 2020. – Vol. 5, № 1. – P. 726–739.
- Nasir, M. W. Effect of Drought Stress on Potato Production: A Review / M. W. Nasir, Z. Toth // Agronomy. – 2022. – Vol. 12, № 3. – P. 635.
- Physiological and protein profiling analysis provides insight into the underlying molecular mechanism of potato tuber development regulated by jasmonic acid in vitro / J. Yuan [et al.] // BMC Plant Biology. – 2022. – Vol. 22, № 1. – P. 1–22.
- Hormonal regulation of tuber formation in potato / Bulbous plants: biotechnology / N. P. Aksenova [et al.]; eds K. Ramavat, and J. Méridon. Boca Raton, 2013. – Ch. 1. – P. 3–36.
- Инструкция по использованию иммуноферментного диагностического набора для определения вирусов картофеля / Рос. с.-х. академ. НПО по картофелеводству. – М.: Коренево, 2016. – 8 с.

7. Ермохин, Ю. И. Почвенно-растительная оперативная диагностика «ПРОД-ОМСХИ» минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур: монография / Ю. И. Ермохин. – Омск: ОмГАУ, 1995. – 208 с.
8. Ахмедова, Р. И. Спектрофотометрическое определение аскорбиновой кислоты в лекарственных формах / Р. И. Ахмедова, Х. А. Мирзаева // *Universum: химия и биология*. – 2016. – Т. 30, № 12. – С. 1.
9. Rice stripe virus suppresses jasmonic acid-mediated resistance by hijacking brassinosteroid signaling pathway in rice / J. Hu [et al.] // *PLoS pathogens*. – 2020. – Vol. 16, № 8. – P. e1008801.
10. Divi, U. K. Brassinosteroid mediated stress tolerance in Arabidopsis shows interactions with abscisic acid, ethylene and salicylic acid pathways / U. K. Divi, T. Rahman, P. Krishna // *BMC Plant Biology*. – 2010. – Vol. 10. – P. 151–164.
11. Rohmawati, T. Effect of Methyl Jasmonate on Vegetative Growth and Formation of Potato Tuber (*Solanum tuberosum* L. var. Granola) / T. Rohmawati, K. Dewi // *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*. – 2019. – Vol. 7, № 1. – С. 24–29.
12. Пузина, Т. И. Экзогенная салициловая кислота и фотосинтетическая активность *Solanum tuberosum* / Т. И. Пузина, И. Ю. Макеева // *Естественные и гуманитарные науки в современном мире*. – 2019. – С. 101–105.
13. Salicylic acid protects potato plants from phytoplasma-associated stress and improves tuber photosynthate assimilation / S. Sánchez-Rojo [et al.] // *American journal of potato research*. – 2011. – Т. 88, № 2. – С. 175–183.
14. Ascorbic acid accumulates as a defense response to Turnip mosaic virus in resistant Brassica rapa cultivars / A. Fujiwara [et al.] // *Journal of experimental botany*. – 2016. – Vol. 67, № 14. – С. 4391–4402.
15. Interplay between abiotic (drought) and biotic (virus) stresses in tomato plants / R. Mishra [et al.] // *Molecular Plant Pathology*. – 2022. – Vol. 23, № 4. – С. 475–488.
16. Yarwood, C. E. Virus susceptibility increased by soaking bean leaves in water / C. E. Yarwood // *Plant Dis. Repr.* – 1959. – Vol. 43. – P. 841–844.
17. Reactive oxygen species are involved in brassinosteroid-induced stress tolerance in cucumber / X. J. Xia [et al.] // *Plant physiology*. – 2009. – Vol. 150, № 2. – С. 801–814.
18. Brassinosteroid suppress rice defense against root-knot nematodes through antagonism with the jasmonate pathway / K. Nahar [et al.] // *Mol. Plant Microbe Interact.* – 2013. – Vol. 26. – P. 106–115.
19. Brassinosteroids antagonize gibberellin- and salicylate-mediated root immunity in rice / D. De Vleesschauwer [et al.] // *Plant physiology*. – 2012. – Vol. 158, № 4. – P. 1833–1846.
20. Федорова, Ю. Н. Применение салициловой кислоты для адаптации растений в условиях *in vivo* / Ю. Н. Федорова, А. И. Ковалев // *Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2014. – № 2. – С. 16–21.
21. Virus infection improves drought tolerance / P. Xu [et al.] // *New Phytologist*. – 2008. – Vol. 180, № 4. – P. 911–921.
22. Elwan, M. W. M. Improved productivity and quality associated with salicylic acid application in greenhouse pepper / M. W. M. Elwan, M. A. M. El-Hamahmy // *Scientia Horticulturae*. – 2009. – Vol. 122, № 4. – P. 521–526.
23. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize grown under salinity. A. Cunes [et al.] // *J. Plant Physiol.* – 2007. – Vol. 164. – P. 728–736.
24. Effects of satureja hortensis oil treatments and exogenous H₂O₂ on potato virus y infected *Solanum tuberosum* L. / Plants under drought conditions / C. L. Bădărău [et al.] // *Analele Universitatii din Oradea, Fascicula Biologie*. – 2012. – Vol. 19, № 2. – P. 140–145.
25. Brassinosteroids as a Factor of Photosynthetic Activity Increase of Improved Potatoes / U. I. Pavlovna [et al.] // *Biosciences Biotechnology Research Asia*. – 2015. – Vol. 12, № 2. – P. 1481–1485.
26. Enhanced ascorbic acid accumulation in transgenic potato confers tolerance to various abiotic stresses / C. P. Upadhyaya [et al.] // *Biotechnology letters*. – 2010. – Vol. 32, № 2. – P. 321–330.
27. Effect of salicylic acid and salinity stress on the performance of tomato plants / M. Naeem [et al.] // *Gesunde Pflanzen*. – 2020. – Vol. 72, № 4. – P. 393–402.
28. Boubakri, H. The role of ascorbic acid in plant-pathogen interactions / H. Boubakri // *Ascorbic acid in plant growth, development and stress tolerance*. – 2017. – P. 255–271.
29. Wolucka, B. A. Methyl jasmonate stimulates the de novo biosynthesis of vitamin C in plant cell suspensions / B. A. Wolucka, A. Goossens, D. Inzé // *Journal of experimental Botany*. – 2005. – Vol. 56, № 419. – P. 2527–2538.
30. Youssif, S. B. D. Response of potatoes to foliar spray with cobalamin, folic acid and ascorbic acid under North Sinai conditions / S. B. D. Youssif, S. Youssif // *Middle East J. Agric. Res.* – 2017. – Vol. 6, № 3. – P. 662–672.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № B22M-037).

УДК 633.15:631.559:631.841.7:551.5

Формирование урожая кукурузы при использовании различных доз и сроков внесения карбамида в зависимости от агроклиматических условий

Н. Ф. Надточаев, кандидат с.-х. наук, В. Н. Костеневич, соискатель
Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию

(Дата поступления статьи в редакцию 11.01.2023)

На связносупесчаной почве Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию в четырехлетних опытах изучено действие основного и дробного внесения карбамида на урожайность кукурузы в зависимости от погодных условий. Показано, что внесение карбамида в дозе 90–120 кг/га азота на фоне 50 т/га навоза обеспечивает существенную прибавку урожая относительно контрольного варианта без азота (15,6–22,8 % по сухому веществу и 17,2–25,9 % по зерну), но имеет несущественные различия в пределах указанных норм применения. Дробное внесение карбамида (N_{30} в пред-

The effect of basic and fractional application of carbamide on corn yield depending on weather conditions was studied in four-year experiments on the connected sandy soil of the Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture. It is shown that the introduction of carbamide at a dose of 90–120 kg/ha of nitrogen against a background of 50 t/ha of manure provides a significant increase in yield relative to the control variant without nitrogen (15,6–22,8 % for dry matter and 17,2–25,9 % for grain), but has insignificant differences within the specified application rate. Fractional