

ISSN 1029-8940 (Print)
ISSN 2524-230X (Online)
УДК 581.4:581.19
<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2025-70-2-108-117>

Поступила в редакцию 11.10.2024
Received 11.10.2024

О. В. Чижик, Т. В. Мазур, Е. Б. Кардаш

Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ ЭЛИСИТОРОВ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНОВ БРУСНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ

Аннотация. Изучено влияние элиситоров (лактата хитозана, янтарной кислоты, экстракта хвои пихты) на физиолого-биохимические показатели при адаптации *ex vitro* растений брусники обыкновенной сорта ‘Red Pearl’. Определено содержание флавоноидов, оксикоричных кислот (ОКК), фенольных соединений (ФС), пигментов фотосинтеза, антиоксидантной активности (АОА) при адаптации *ex vitro* после обработок элиситорами. Впервые методом 2D-электрофореза на протеомных картах растений, обработанных элиситорами, выявлены белки защитного ответа (PR-белки). Определено, что при адаптации брусники сорта ‘Red Pearl’ наиболее эффективны обработки янтарной кислотой и лактатом хитозана. Подтверждена перспективность использования элиситоров в технологиях производства посадочного материала для стимулирования у растений физиологических процессов адаптации.

Ключевые слова: элиситоры, *Vaccinium vitis-idaea* L., фенольные соединения, оксикоричные кислоты, флавоноиды, антиоксидантная активность, протеомный анализ, 2D-электрофорез

Для цитирования: Чижик, О. В. Влияние элиситоров на физиолого-биохимические показатели вегетативных органов брусники обыкновенной / О. В. Чижик, Т. В. Мазур, Е. Б. Кардаш // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сэрыя біялагічных навук. – 2025. – Т. 70, № 2 – С. 108–117. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2025-70-2-108-117>

Olga V. Chizhik, Tatyana V. Mazur, Elizaveta B. Kardash

Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

ELICITOR'S INFLUENCE ON THE PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDEXES OF THE *VACCINIUM VITIS IDAEA* L. VEGETATIVE ORGANS

Abstract. The influence of elicitors (chitosan lactate, succinic acid, extract of *Abies* sp.) on the physiological and biochemical indexes of the *Vaccinium vitis idaea* L. cv. ‘Red Pearl’ was studied. The content of biologically active substances, pigments of photosynthesis, antioxidant activity during the adaptation process after treatment with elicitors was determined. For the first time in Belarus by the 2-D electrolysis method the PR-proteins of stress response after elicitors treatment were revealed. It was shown that during the *Vaccinium vitis idaea* L. adaptation the succinic acid and chitosan treatment are the most effective. It was confirmed that elicitors are perspective for the *Vaccinium vitis idaea* L. adaptation in the technologies of a planting material production.

Keywords: elicitors, *Vaccinium vitis-idaea* L., phenolic compounds, oxycinnamic acid, flavonoids, antioxidant activity, proteomic analysis, 2-D electrophoresis

For citation: Chizhik O. V., Mazur T. V., Kardash E. B. Elicitor's influence on the physiological and biochemical indexes of the *Vaccinium vitis idaea* L. vegetative organs. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2025, vol. 70, no. 1, pp. 108–117 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2025-70-1-108-117>

Введение. С каждым годом повышаются требования к экологической безопасности растительной продукции, что очень важно для поддержания здорового образа жизни человека. В условиях интенсивного использования пестицидов становится обязательным учет возможных экологических последствий их применения. Вместе с тем следует обратить особое внимание на необходимость поиска эффективных и безопасных для окружающей среды и человека средств защиты растений.

В последние десятилетия в научной литературе появились работы, свидетельствующие о том, что в защите растений от различных стрессовых воздействий важная роль принадлежит элиситорам [1, 2].

Элиситоры – биотические или абиотические факторы, индуцирующие в растениях неспецифический комплекс защитных реакций (неспецифический адаптационный синдром), проявлением которого является кратковременная индукция неспецифической устойчивости [1, 2].

Элиситоры взаимодействуют со специальными белками-рецепторами, расположенными на мембране растительных клеток. Эти рецепторы способны распознавать молекулярную структуру элиситоров и запускать внутриклеточную защитную реакцию. Такая реакция приводит к усиленному синтезу вторичных метаболитов, которые уменьшают повреждения и повышают устойчивость к вредителям, патогенам или абиотическому стрессу [2–4]. Индуцированная неспецифическая устойчивость является одним из важнейших механизмов, обеспечивающих защиту растительного организма от различного рода деструктивных воздействий [5], что указывает на возможность использования элиситоров для повышения иммунитета растений (фитоиммунитета).

Биологический метод защиты растений перспективен для применения в закрытом и открытом грунте и не имеет альтернатив в организации экологического земледелия. При правильном применении он весьма эффективен и безвреден для человека и окружающей среды.

Выращивание растительной продукции – важное звено в обеспечении населения пищевыми ресурсами и сырьем для перерабатывающей промышленности. В связи с актуальностью растений рода *Vaccinium* стоит задача наработки качественного посадочного материала в короткие сроки и в промышленных масштабах. Результаты интродукции представителей семейства Вересковые (*Ericaceae*), начатой в 1980 г. в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси, легли в основу промышленного ягодоводства в республике [6].

Растения брусники сорта ‘Red Pearl’ были выращены с использованием технологии размножения *in vitro*, которая имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционным размножением. Однако успех процесса адаптации культуры *in vitro* к условиям *ex vitro* связан с оптимизацией условий культивирования. Даже небольшие отклонения от оптимума приводят к резкому снижению приживаемости, скорости роста и ухудшению физиологического состояния регенерантов. Чтобы успешно получить качественный посадочный материал, необходимо изучить фундаментальные процессы, лежащие в основе роста и развития растений, а также установить возможные пути их регуляции. Поэтому исследования, направленные на повышение неспецифического иммунитета растений при стрессовых воздействиях (в частности, переход культуры из условий *in vitro* в условия защищенного грунта *ex vitro*), весьма актуальны.

Таким образом, в процессе поиска перспективных экологичных способов защиты сельскохозяйственных культур и создания безопасных для человека препаратов изучение влияния элиситоров на повышение неспецифической устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессам является важным и научно значимым.

Исследования имеют и практическое значение: планируется применить органические элиситоры на стадии адаптации растений семейства *Ericaceae* к условиям *ex vitro*, что позволит получить большее количество высококачественного посадочного материала хозяйственно-ценных культур.

Цель работы – изучить влияние элиситоров различной природы на повышение неспецифической устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессам с помощью естественных механизмов иммунитета.

Материалы и методы исследования. Объект исследования – брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), сорт ‘Red Pearl’.

Обработки элиситорами (лактатом хитозана, янтарной кислотой, экстрактом хвои пихты) проводили путем опрыскивания надземной зеленой массы растений трижды каждые 14 дней. Контролем служили растения брусники, которые опрыскивали дистиллированной водой.

Лактат хитозана усиливает врожденный механизм защиты растений для борьбы с насекомыми, патогенными микроорганизмами и почвенными болезнями, ускоряет процесс фотосинтеза, способствует усилению роста растений, стимулирует поглощение питательных веществ. Применение этого биополимера в сельском хозяйстве поможет уменьшить нагрузку на окружающую среду, укрепить жизнеспособность семян, улучшить защитные свойства насаждений и увеличить урожайность [7].

Янтарная кислота для растений – это регулятор и умеренный активатор роста, стрессовый адаптоген. Она помогает растениям лучше и в полной мере усваивать питательные вещества и микроэлементы [8]. Важно отметить, что передозировка практически невозможна – растение усвоит только необходимое ему количество веществ [9].

Экстракт хвои пихты – природный инсектицид, который активизирует иммунитет, повышает устойчивость растений к болезням и вредителям и тем самым увеличивает урожайность. Элиситор получали по методике [10, 11]. Полученный экстракт использовали для опрыскивания без разведения.

Приготовление экстрактов всех исследуемых образцов проводили согласно Государственной фармакопее Республики Беларусь (ГФ РБ) [12].

Общее содержание фенольных соединений (ФС) измеряли спектрофотометрическим методом с применением метода Фолина – Чокальтеу [13]. Для построения калибровочного графика в качестве стандарта была использована галловая кислота.

Определение содержания флавоноидов в экстрактах проводили в пересчете на лютеолин согласно ГФ РБ [14].

Определение содержания оксикоричных кислот (ОКК) в экстрактах всех исследуемых образцов проводили согласно [15].

Антиоксидантную активность (АОА) определяли по [16]. Для этого использовали 2,2'-азинобис(3-этилбензотиазолин-6-сульфоиклоту) (АБТС) в виде диаммонийной соли (Sigma, степень чистоты 98 %).

Протеомный анализ. Выделение общей фракции клеточных белков из листовой ткани брусники обыкновенной проводили на основе методологии, разработанной S. Amme с соавт. [17] и D. Vincent с соавт. [18].

Фракции белков очищали от примесей с помощью набора реагентов 2-D Clean-Up Kit (GE Healthcare, США).

Изоэлектрофокусирование (ИЭФ) проводили с использованием автоматической станции PROTEAN i12 (Bio-Rad Laboratories, США) на иммобилизованных сухих стрипах ReadyStrip IPG Strips с иммобилизованным градиентом pH (pI 3–10 L) длиной 11 см (Bio-Rad).

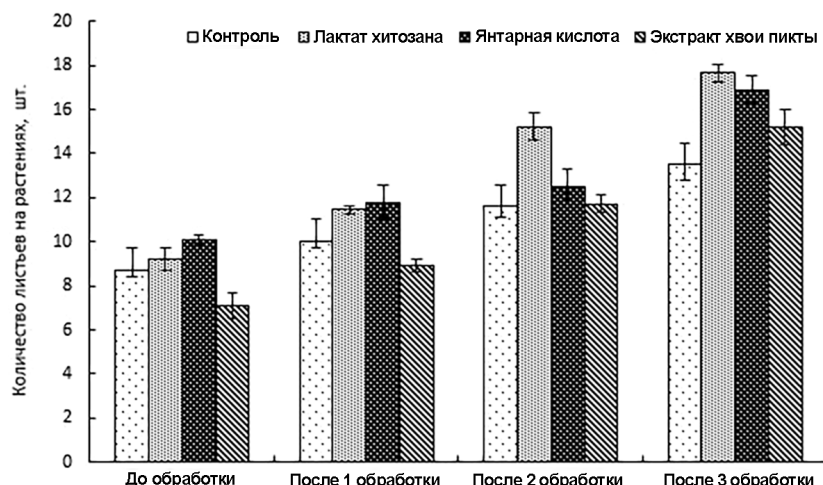
После проведения ИЭФ IPG-стрипы уравнивали с буферными системами для вертикального электрофореза (ЭФ) белков в денатурирующих условиях в щелочной системе. Затем как 2-е направление 2D-электрофореза проводили вертикальный ЭФ белков в денатурирующих условиях в щелочной системе по методу U. K. Laemmli [19] на готовых гелях Criterion TGX Precast Midi Protein Gel в камере для ЭФ Criterion Cell (Bio-Rad). После ЭФ гели окрашивали красителем Oriole Fluorescent Gel Stain (Bio-Rad). Окрашенные гели фотографировали, используя систему VersaDoc (Bio-Rad). Анализ протеомных карт проводили с помощью специализированного программного обеспечения PDQuest 2-D analysis software (Bio-Rad). Определение исследуемых белков по молекулярной массе (Мм) проводили, используя базу данных UniProt.

Результаты и их обсуждение. Изучено влияние лактата хитозана, янтарной кислоты, экстракта хвои пихты на ростовые параметры при адаптации в условиях *ex vitro* представителя семейства *Ericaceae* – брусники обыкновенной сорта 'Red Pearl'.

По сравнению с контрольными растениями, после обработок исследуемыми элиситорами наблюдался более быстрый прирост новых побегов, увеличение их средней длины, а также количества и размеров листьев (рис. 1). Следует отметить, что самые крупные размеры листовых пластинок зафиксированы при использовании янтарной кислоты, при обработке растений лактатом хитозана и экстрактом хвои пихты – чуть меньше.

Уже после первой обработки элиситорами все группы растений превосходили группу контроля по всем исследуемым показателям. Эта тенденция сохранилась и в дальнейшем – прирост надземной части увеличивался с каждой обработкой (рис. 2).

Для брусники сорта 'Red Pearl' наиболее эффективным элиситором, который повлиял на прирост новых побегов и их длину, явилась янтарная кислота. Следующим по результативности стал лактат хитозана. Среднее количество листьев на побеге было выше после обработки лактатом хитозана и экстрактом хвои пихты.

Рис. 1. Среднее количество листьев на растении *Vaccinium vitis-idaea* L. сорта 'Red Pearl'Fig. 1. Average number of leaves on the *Vaccinium vitis-idaea* L. cv. 'Red Pearl' plant

Таким образом, проведенные исследования выявили стимулирующее воздействие всех используемых элиситоров на ростовые процессы, что подтверждает возможность их применения при адаптации брусники обыкновенной сортовой в технологиях производства растительной продукции.

Чтобы изучить влияние обработок элиситорами на фотосинтезирующий аппарат исследуемых растений, в листьях образцов определяли содержание и сумму хлорофиллов *a*, *b*, а также сумму каротиноидов.

Показатели содержания хлорофиллов *a* и *b* во всех вариантах с применением элиситоров были выше, чем в контрольной группе. Сумма хлорофиллов *a* + *b* у растений брусники, обработанных лактатом хитозана, превышала контроль на 15 %, обработанных янтарной кислотой – на 13 %, экстрактом хвои пихты – на 9 %.

Суммы каротиноидов в листьях образцов, обработанных элиситорами, также были выше, чем в контроле: после обработки янтарной кислотой – на 16,5 %, лактатом хитозана – на 15,2 %, экстрактом хвои пихты – на 13,1 %.

Рис. 2. *Vaccinium vitis-idaea* L. сорта 'Red Pearl' после первой (верхний ряд) и третьей (нижний ряд) обработки элиситорамиFig. 2. *Vaccinium vitis-idaea* L. cv. 'Red Pearl' after the first (top row) and after the third (bottom row) treatment of elicitors

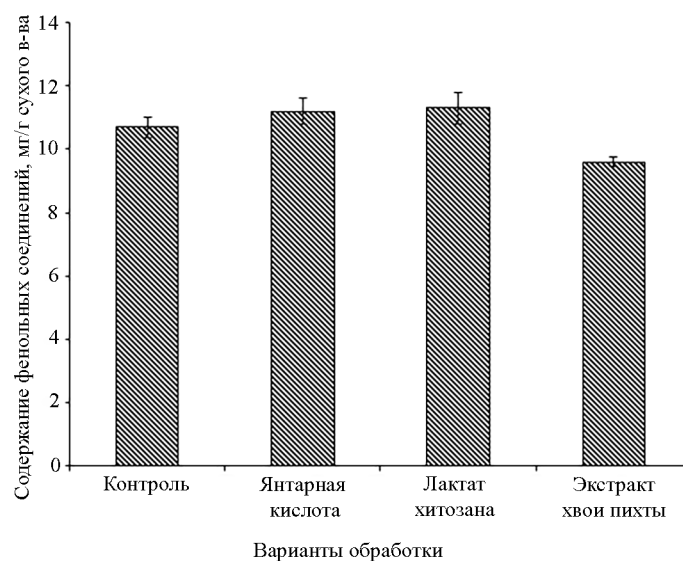


Рис. 3. Суммарное содержание ФС в листовых экстрактах *Vaccinium vitis-idaea* L. сорта 'Red Pearl' в зависимости от обработки элиситорами

Fig. 3. Total content of phenolic compounds in the leaf extracts of *Vaccinium vitis-idaea* L. cv. 'Red Pearl' after treatment with elicitors

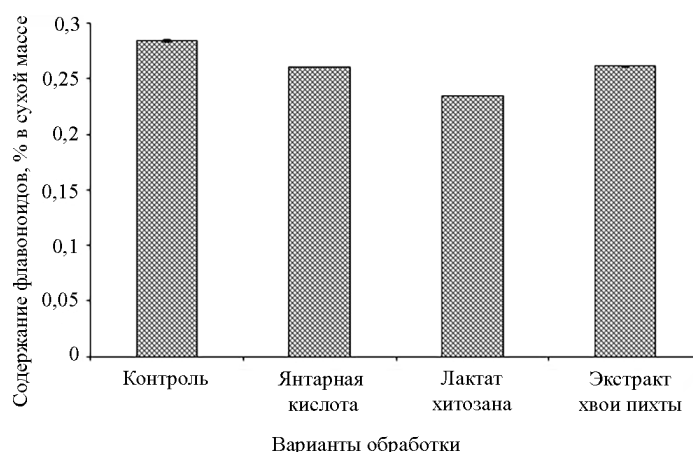


Рис. 4. Содержание флавоноидов в листовых экстрактах *Vaccinium vitis-idaea* L. сорта 'Red Pearl' в зависимости от обработки элиситорами

Fig. 4. Flavonoid content in the leaf extracts of *Vaccinium vitis-idaea* L. cv. 'Red Pearl' after treatment with elicitors

Таким образом, было показано, что обработка элиситорами оказывает заметное положительное влияние на фотосинтетический аппарат брусники [20].

Спустя месяц после обработок элиситорами в экстрактах брусники сорта 'Red Pearl' измеряли общее содержание ФС (рис. 3), флавоноидов (рис. 4) и ОКК (рис. 5).

Наибольшее количество ФС в экстрактах было отмечено при внекорневой обработке растворами лактата хитозана ($11,29 \pm 0,02$ мг/г сухого вещества) и янтарной кислоты ($11,23 \pm 0,02$ мг/г сухого вещества), а наименьшее – при обработке экстрактом хвои пихты ($9,61 \pm 0,06$ мг/г сухого вещества). Суммарное содержание ФС в листовых экстрактах контроля (без обработки) составило $10,69 \pm 0,02$ мг/г сухого вещества.

Количество флавоноидов (рис. 4) в экстрактах брусники сорта 'Red Pearl' при опрыскивании различными элиситорами во всех вариантах было практически одинаковым. В контрольном образце данный показатель составил $0,28 \pm 0,0009$ %, после обработки янтарной кислотой, а также в варианте обработки экстрактом хвои пихты – $0,26 \pm 0,0003$ % (на 7,14 % ниже, чем в контроле), после обработки хитозаном – $0,23 \pm 0,0002$ % (на 17,86 % ниже, чем в контроле).

По содержанию в экстрактах брусники ОКК наблюдалась схожая тенденция (рис. 5): во всех вариантах образцов количество ОКК уменьшилось по отношению к контролю. Минимальный показатель ОКК ($6,92 \pm 0,004$ ммоль/л) был отмечен в экстракте брусники, обработанной раствором лактата хитозана (на 17,52 % ниже, чем в контроле). После опрыскивания раствором янтарной кислоты и экстрактом хвои пихты снижение синтеза ОКК произошло приблизительно на 8 % (8,46 и 8,22 % соответственно).

Помимо определения общего содержания ФС, флавоноидов и ОКК, нами была проведена оценка антиоксидантных свойств экстрактов в системе с катион-радикалами АБТС+•. Из результатов, приведенных в таблице, видно, что АОА экстрактов брусники сорта 'Red Pearl' колебалась в пределах от 154,06 до 184,79 мкмоль тролокса/г сухих листьев после 1-й мин проведения реакции и от 209,59 до 243,80 мкмоль тролокса/г сухих листьев – после 6-й мин. Как на 1-й, так и на 6-й мин наибольшие значения АОА были зафиксированы в экстрактах контрольных растений, а наименьшие – при обработке растений брусники экстрактом хвои пихты: АОА снизилась на 16,6 % по отношению к контролю на 1-й мин эксперимента, а на 6-й мин – на 14 %.

Таким образом, во всех вариантах обработки отмечено незначительное снижение АОА по сравнению с контролем.

Наиболее эффективным средством защиты организма от патологического действия активных форм кислорода (АФК) и других радикальных продуктов являются антиоксидантные вещества фенольной природы, к которым относятся и флавоноиды. Их биологическая активность обусловлена наличием реактивных гидроксильных и карбонильных групп. Антиоксидантное действие флавоноидов брусники, в частности кверцетина, содержащегося в листьях, проявляется в способности захватывать АФК и ингибировать ферменты, участвующие в генерации АФК [21].

В стрессовых условиях в растительном организме происходит увеличение синтеза вторичных метаболитов. Однако при обработке растений элиситорами в экстрактах из листовой ткани брусники обыкновенной наблюдали снижение количества ФС, флавоноидов и ОКК, а также АОА по сравнению с контролем, что свидетельствует об их положительном влиянии на рост и развитие растений.

Изменения в метаболизме, физиологических функциях и ростовых процессах любого растительного организма прежде всего связаны с изменениями в экспрессии генов. Поэтому при различных эпигенетических воздействиях изменение экспрессии генов будет проявляться в изменении белкового состава. В связи с этим мы впервые провели исследование протеомного состава листовой ткани брусники после обработки элиситорами.

Для достижения оптимальных результатов исследований в протеомике процедура пробоподготовки имеет решающее значение. Особенно это касается растительных тканей, которые содержат высокие уровни соединений, мешающих анализу. Необходимо отметить, что получение качественного образца для протеомных исследований усложняет и тот факт, что

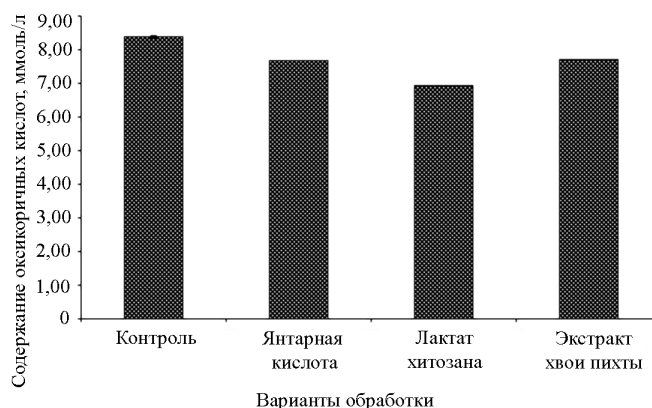


Рис. 5. Содержание ОКК в листовых экстрактах *Vaccinium vitis-idaea* L. сорта 'Red Pearl' в зависимости от обработки элиситорами

Fig. 5. Oxycinnamic acids content in the leaf extracts of *Vaccinium vitis-idaea* L. cv. 'Red Pearl' after treatment with elicitors

АОА листовых экстрактов *Vaccinium vitis-idaea* L. сорта 'Red Pearl' в зависимости от обработки элиситорами

Antioxidant activity of *Vaccinium vitis-idaea* L. leaf extracts of cv. 'Red Pearl' after treatment of elicitors

Обработка элиситорами	АОА, мкмоль тролокса/г сухих листьев	
	1-я мин эксперимента	6-я мин эксперимента
Контроль	184,79	243,80
Янтарная кислота	172,27	231,13
Лактат хитозана	171,17	230,91
Экстракт хвои пихты	154,06	209,59

многие растительные ткани не содержат достаточного количества белка, необходимого для анализа, и содержат различные концентрации вторичных метаболитов.

Проведен первичный сравнительный анализ общего протеома листовой ткани брусники обыкновенной сорта ‘Red Pearl’ после обработки элиситорами (лактатом хитозана, экстрактом хвои пихты и янтарной кислотой).

Показано, что белковые профили контрольного варианта и растений, обработанных различными элиситорами, характеризовались высокой степенью идентичности. При анализе полученных протеомных карт выявлено, что после обработки экстрактом хвои пихты заметных различий между опытом и контролем не наблюдается.

На рис. 6 представлены протеомные карты брусники обыкновенной сорта ‘Red Pearl’ без обработки (контроль) (рис. 6, *a*) и после обработки янтарной кислотой (рис. 6, *b*), лактатом хитозана (рис. 6, *c*).

При внекорневой обработке брусники янтарной кислотой (рис. 6, *b*) протеомные карты опыта и контроля (рис. 6, *a*) практически не имели различий. Однако на электрофореграмме после обработки янтарной кислотой наблюдали значительное усиление экспрессии белка с Мм 21,6 кДа, рI 9,8, предположительно, относящегося к классу белков PR-5, обладающих антигрибной активностью.

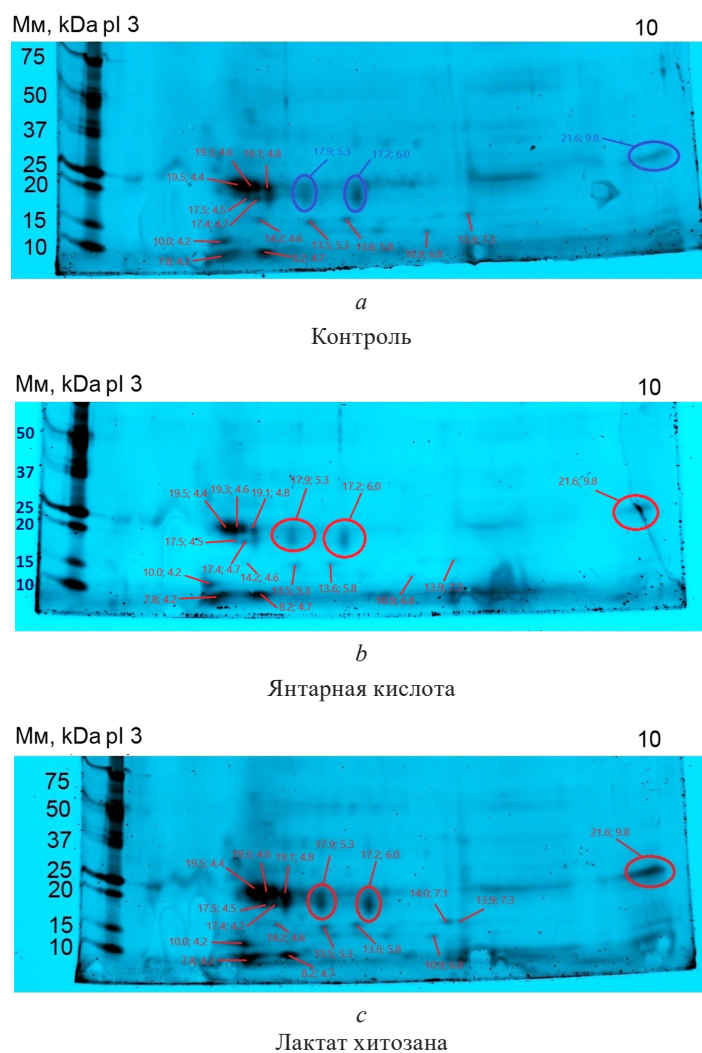


Рис. 6. Протеомные карты листовой ткани *Vaccinium vitis-idaea* L. сорта ‘Red Pearl’: контроль (*a*), обработка янтарной кислотой (*b*) и лактатом хитозана (*c*). Кругами отмечены белки, имеющие отличия по силе экспрессии

Fig. 6. Proteomic maps of *Vaccinium vitis-idaea* L. cv. ‘Red Pearl’ leaf tissue: control (*a*), succinic acid (*b*) and chitosan lactate treatment (*c*). Circles indicate proteins that demonstrate differences in expression strength

При обработке растений лактатом хитозана (рис. 6, с) заметно усилилась экспрессия низкомолекулярных кислых полипептидов с Мм 17,9 (pI 5,3) и 17,2 кDa (pI 6,0), а также основного белка с Мм 21,6 кDa, pI 9,8. Мы полагаем, что низкомолекулярные белки, отсутствующие на электрофореграмме контрольных растений, относятся к классу низкомолекулярных PR-белков защитного ответа (Мм 13–36 кDa), синтезирующихся в растениях в ответ на стресс.

Белки с Мм 17,9 кDa (pI 5,3) и 17,2 кDa (pI 6,0) относятся к классу белков PR-10 (белки защитного ответа, которые вырабатываются в растениях в ответ на стрессовое воздействие). Белок с Мм 21,6 кDa и pI 9,8 может принадлежать к классу гидролаз, предположительно, это ксиланаза F1X (Мм 22 кDa) – фермент, индуцирующий биосинтез этилена и активирующий другие симптомы иммунного ответа. Также, исходя из рассчитанной молекулярной массы и значения pI, данный полипептид может относиться к группе перматинов (класс PR-5 белков), проявляющих антигрибную активность.

В дальнейшем для более точной идентификации выявленных белков иммунного ответа планируется провести масс-спектрометрический анализ.

Данные, полученные методом протеомного анализа, согласуются с данными по содержанию вторичных метаболитов и пигментов фотосинтеза (изменение их содержания после обработок элиситорами), что говорит об ответной реакции на молекулярном, метаболомном и физиологическом уровнях.

Заключение. В процессе роста и развития растения сталкиваются с большим количеством биотических и абиотических факторов стрессового воздействия. Для успешного приспособления к условиям окружающей среды в растительном организме происходит изменение путей вторичного метаболизма, в первую очередь индукция синтеза биологически активных веществ (БАВ) фенольной природы, которые обладают ярко выраженной АОА, что помогает растению успешно преодолевать стресс. Также физиологический статус растительного организма можно оценить по его протеомному составу. Анализ указанных показателей помогает определить адаптивный потенциал растения.

В наших исследованиях изучено влияние элиситоров (лактата хитозана, янтарной кислоты, экстракта хвои пихты) на изменение физиолого-биохимических показателей представителя семейства *Ericaceae* брусники обыкновенной сортовой при адаптации к условиям *ex vitro*. Определено влияние внекорневых обработок на габитус растений, на содержание пигментов фотосинтеза, флавоноидов, ОКК, ФС, АОА и протеомный состав. Показано стимулирующее действие лактата хитозана и янтарной кислоты на биометрические и биохимические показатели брусники сорта 'Red Pearl' (изменение количества хлорофиллов и каротиноидов, БАВ, общего габитуса растений).

Впервые в республике методом 2D-электрофореза подтверждено воздействие элиситоров на адаптивный потенциал витроплантов брусники – на протеомных картах растений после обработки элиситорами выявлены белки стрессового ответа.

Доказана перспективность использования элиситоров для стимулирования у растений физиологических процессов адаптации. Изменение исследованных морфолого-физиологических и биохимических показателей в ответ на обработку говорит об ответной реакции на молекулярном, метаболитном и физиологическом уровнях (системный ответ). Возрастание экспрессии PR-белков также свидетельствует о повышении фитоиммунитета растений, обработанных элиситорами.

Полученные данные имеют прикладное значение, поскольку выявление механизмов устойчивости и адаптации растений к неблагоприятным факторам окружающей среды открывает широкие перспективы для развития биотехнологий.

Результаты проведенных исследований демонстрируют перспективность применения элиситоров (модификаторов неспецифической устойчивости растений к абиотическим и биотическим стрессам) в технологиях производства посадочного материала хозяйственно-ценных культур. Показано, что управление стрессоустойчивостью, включая невосприимчивость к патогенам, может быть осуществлено не только с помощью селекции, но и путем обработки растений БАВ, усиливающими синтез определенных гормонов и/или стимулирующих образование в растительных тканях антипатогенных веществ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Соколов, Ю. А. Элиситоры и их применение в растениеводстве / Ю. А. Соколов. – Минск: Беларус. навука, 2016. – 201 с.
2. Studies on elicitor recognition and signal transduction in plant defence / A. Renelt, C. Colling, K. Hahlbrock [et al.] // *Journal of Experimental Botany*. – 1993. – Vol. 44, N 258, Suppl. – P. 257–268.
3. Мохамед, Э. И. Оценка инсектицидной активности растений флоры Египта: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.07 / Мохамед Ибрагим Мохамед Эльсергани; Рос. гос. аграр. ун-т – МСХА им. К. А. Тимирязева. – М., 2012. – 132 л.
4. Тарчевский, И. А. Сигнальные системы клеток растений / И. А. Тарчевский. – М.: Наука, 2002. – 294 с.
5. Collins, A. R. Assays for oxidative stress and antioxidant status: applications to research into the biological effectiveness of polyphenols / A. R. Collins // *The American Journal of Clinical Nutrition*. – 2005. – Vol. 81, N 1, Suppl. – P. 261–267. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.261s>
6. Чижик, О. В. Голубика высокая (*Vaccinium corymbosum* L.): протеомные и молекулярно-генетические исследования / О. В. Чижик, А. Н. Юхимук, В. Н. Решетников // *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*. – 2022. – Т. 67, № 2. – С. 147–157.
7. Озерковская, О. Л. Хитозан как элиситор индуцированной устойчивости растений: Хитин, его строение и свойства. Хитин и хитозан. Получение, свойства и применение / О. Л. Озерковская, Н. И. Васюкова, С. В. Зиновьева. – М.: Наука, 2002. – 345 с.
8. Коф, Э. М. Антистрессовые эффекты янтарной кислоты на растение / Э. М. Коф, Т. А. Борисова // *Регуляторы роста и развитие растений: тез. докл. 5 Междунар. конф., Москва, 29 июня–1 июля 1999 г.: в 2 т. / редкол.: В. С. Шевелуха [и др.]; Рос. гос. аграр. ун-т – МСХА им. К. А. Тимирязева. – М., 1999. – Т. 1. – С. 97–108.*
9. Яковлева, В. Г. Ростостимулирующее действие экзогенной янтарной кислоты на растения / В. Г. Яковлева, Н. Н. Максютова // *Регуляторы роста и развитие растений: тез. докл. 5 Междунар. конф., Москва, 29 июня–1 июля 1999 г.: в 2 т. / редкол.: В. С. Шевелуха [и др.]; Рос. гос. аграр. ун-т – МСХА им. К. А. Тимирязева. – М., 1999. – Т. 2. – С. 284.*
10. Леонова, М. В. Экстракционные методы изготовления лекарственных средств из растительного сырья: учеб.-метод. пособие / М. В. Леонова, Ю. Н. Климовкин. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – 111 с.
11. Белокуров, С. С. Выбор метода экстрагирования для получения извлечений из семян пажитника сеного с высоким содержанием биологически активных веществ / С. С. Белокуров, Е. В. Флисюк, И. Е. Смехова // *Разработка и регистрация лекарственных средств*. – 2019. – Т. 8, № 3. – С. 35–39.
12. Государственная фармакопея Республики Беларусь (ГФ РБ II): Разработана на основе Европейской фармакопеи. В 2 т. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении; под общ. ред. С. И. Марченко. – Молодечно: Тип. «Победа», 2016. – Т. 2: Контроль качества субстанций для фармацевтического использования и лекарственного растительного сырья. – 1368 с.
13. Analysis of antioxidative phenolic compounds in Artichoke (*Cynara scolymus* L.) / M. F. Wang, J. E. Simon, I. F. Aviles [et al.] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2003. – Vol. 51, N 3. – P. 601–608. <https://doi.org/10.1021/jf020792b>
14. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков, В. В. Арасимович, Н. П. Ярош [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 429 с.
15. Bauer, N. Rosmarinic acid synthesis in transformed callus culture of *Coleus blumei* Benth / N. Bauer, D. Leljak-Levanic, S. Jevaska // *Zeitschrift für Naturforschung C*. – 2004. – Vol. 59, N 7–8. – P. 554–560. <https://doi.org/10.1515/znc-2004-7-819>
16. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay / R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente [et al.] // *Free Radical Biology and Medicine*. – 1999. – Vol. 26, N 9–10. – P. 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
17. A proteome approach defines protective functions of tobacco leaf trichomes / S. Amme, T. Rutten, M. Melzer [et al.] // *Proteomics*. – 2005. – Vol. 5, N 10. – P. 2508–2518. <https://doi.org/10.1002/pmic.200401274>
18. Vincent, D. Optimization of protein extraction and solubilization for mature grape berry clusters / D. Vincent, M. D. Wheatley, G. R. Cramer // *Electrophoresis*. – 2006. – Vol. 27, N 9. – P. 1853–1865. <https://doi.org/10.1002/elps.200500698>
19. Laemmli, U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 / U. K. Laemmli // *Nature*. – 1970. – Vol. 227, N 5259. – P. 680–685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>
20. Вайновская, И. Ф. Влияние элиситоров на морфолого-физиологические параметры *Vaccinium vitis-idaea* L. при адаптации *ex vitro* / И. Ф. Вайновская, А. С. Круль, О. В. Чижик // *Теоретические и прикладные аспекты организации, проведения и использования мониторинговых наблюдений: материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 95-летию со дня рождения члена-корреспондента НАН Беларуси Е. А. Сидоровича, 9–10 марта 2023 г. / Центр. ботан. сад НАН Беларуси; редкол.: Ж. А. Рупасова [и др.]. – Минск, 2023. – С. 143–145.*
21. Кочарян, Г. Г. Антиоксидантные свойства флавоноидов – кверцетина, морина, нарингина и рутина и их связывание с ДНК: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04 / Кочарян Гаспар Грайрович; Ин-т химической физики им. А. Б. Налбандяна Нац. акад. наук Респ. Армения. – Ереван, 2016. – 114 л.

References

1. Sokolov Yu. A. *Elicitors and their application in crop production*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2016. 201 p. (in Russian).
2. Renelt A., Colling C., Hahlbrock K., Niirnerberger T., Parker J. E., Sacks W. R., Scheel D. Studies on elicitor recognition and signal transduction in plant defence. *Journal of Experimental Botany*, 1993, vol. 44, no. 258, suppl., pp. 257–268.
3. Mokhamed E. I. *Assessment of the insecticidal activity of plants of the flora of Egypt*. Ph. D. Thesis. Moscow, 2012. 132 p. (in Russian).
4. Tarchevskii I. A. *Signaling systems of plant cells*. Moscow, Nauka Publ., 2002. 294 p. (in Russian).
5. Collins A. R. Assays for oxidative stress and antioxidant status: applications to research into the biological effectiveness of polyphenols. *Journal of Clinical Nutrition*, 2005, vol. 81, no. 1, suppl., pp. 261–267. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.261s>
6. Chizhik O. V., Yukhimuk A. N., Reshetnikov V. N. High blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.): proteomic and molecular genetic studies. *Vestsi Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2022, vol. 67, no. 2, pp. 147–157 (in Russian).

7. Ozerkovskaya O. L., Vasyukova N. I., Zinov'eva S. V. *Chitosan as an elicitor of induced plant resistance: Chitin, its structure and properties. Chitin and chitosan. Preparation, properties and application*. Moscow, Nauka Publ., 2002. 345 p. (in Russian).
8. Kof E. M., Borisova T. A. Anti-stress effects of succinic acid on the plant. *Regulatory rosta i razvitie rastenii: tezisy dokladov pyatoi Mezhdunarodnoi konferentsii, Moskva, 29 iyunya–1 iyulya 1999 goda. Tom 1* [Plant growth regulators and development: abstracts of the reports of the fifth International Conference, Moscow, June 29–July 1, 1999. Vol. 1]. Moscow, 1999, pp. 97–108. (in Russian).
9. Yakovleva V. G., Maksyutova N. N. Growth-stimulating effect of exogenous succinic acid on plants. *Regulatory rosta i razvitie rastenii: tezisy dokladov pyatoi Mezhdunarodnoi konferentsii, Moskva, 29 iyunya–1 iyulya 1999 goda. Tom 2* [Plant growth regulators and development: abstracts of the reports of the fifth International Conference, Moscow, June 29–July 1, 1999. Vol. 2]. Moscow, 1999, p. 284 (in Russian).
10. Leonova M. V., Klimochkin Yu. N. *Extraction methods for the manufacture of medicines from plant raw materials*. Samara, Samara State Technical University, 2012. 111 p. (in Russian).
11. Belokurov S. S., Flisyuk E. V., Smekhova I. E. The choice of extraction method for obtaining extracts from fenugreek seeds with a high content of biologically active substances. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv* [Development and registration of medicines.], 2019, vol. 8, no. 3, pp. 35–39 (in Russian).
12. *The State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus: developed on the basis of the European Pharmacopoeia: Quality control of substances for pharmaceutical use and medicinal plant materials. Vol. 2*. Molodechno, Tipografiya “Pobeda” Publ., 2016. 1368 p. (in Russian).
13. Wang M. F., Simon J. E., Aviles I. F., He K., Zheng Q., Tadmor Y. Analysis of antioxidative phenolic compounds in Artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, vol. 51, no. 3, pp. 601–608. <https://doi.org/10.1021/jf020792b>
14. Ermakov A. I., Arasimovich V. V., Yarosh N. P., Perushanskii Yu. V., Lukovnikova G. A., Ikonnikova M. I. *Methods of biochemical research of plants. 3rd ed.* Leningrad, Agropromizdat. Leningradskoe otделение Publ., 1987. 429 p. (in Russian).
15. Bauer N., Leljak-Levanic D., Jevaska S. Rosmarinic Acid Synthesis in Transformed Callus Culture of *Coleus blumei* Benth. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 2004, vol. 59, no. 7–8, pp. 554–560. <https://doi.org/10.1515/znc-2004-7-819>
16. Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 1999, vol. 26, no. 9–10, pp. 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
17. Amme S., Rutten T., Melzer M., Sonnsman G., Vissers J. P. S., Schlesier B., Mock H. P. A proteome approach defines protective functions of tobacco leaf trichomes. *Proteomics*, 2005, vol. 5, no. 10, pp. 2508–2518. <https://doi.org/10.1002/pmic.200401274>
18. Vincent D., Wheatley M. D., Cramer G. R. Optimization of protein extraction and solubilization for mature grape berry clusters. *Electrophoresis*, 2006, vol. 27, no. 9, pp. 1853–1865. <https://doi.org/10.1002/elps.200500698>
19. Laemmli U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 1970, vol. 227, no. 5259, pp. 680–685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>
20. Vainovskaya I. F., Krul' A. S., Chizhik O. V. The effect of elicitors on the morphological and physiological parameters of *Vaccinium vitis-idaea* L. when adapting *ex vitro*. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty organizatsii, provedeniya i ispol'zovaniya monitoringovykh nablyudenii: materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 95-letiyu so dnya rozhdeniya chlena-korrespondenta NAN Belarusi E. A. Sidorovicha (9–10 marta 2023 goda, Minsk)* [Theoretical and applied aspects of the organization, implementation and use of monitoring observations: Proceedings of the international scientific conference dedicated to the 95th anniversary of the birth of Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus E. A. Sidorovich (March 9–10, 2023, Minsk)]. Minsk, 2023, pp. 143–145 (in Russian).
21. Kocharyan G. G. *Antioxidant properties of flavonoids – quercetin, morin, naringin and rutin and their binding to DNA*. Ph. D. Thesis. Armenia, Yerevan, 2016. 114 p. (in Russian).

Інфармацыя аб аўторах

Чижик Ольга Владимировна – канд. биол. наук, доцент, заведующий лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: chizhikolga17@gmail.com, chizhik@cbg.org.by

Мазур Татьяна Васильевна – канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: tmazur@inbox.ru

Кардаш Елизавета Борисовна – мл. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kardaselizaeta@gmail.com

Information about the authors

Olga V. Chizhik – Ph. D. (Biol.), Associate Professor, Head of the Laboratory. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: chizhikolga17@gmail.com, chizhik@cbg.org.by

Tatyana V. Mazur – Ph. D. (Biol.), Senior Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tmazur@inbox.ru

Elizaveta B. Kardash – Junior Research. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kardaselizaeta@gmail.com