УДК 579.64

Поступила в редакцию 22.03.2019
Received 22.03.2019

О.М. Третьякова[1], А.А. Глазев[1], О.В. Павлова[1], В.А. Рылко[2]

[1]Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Я.Купалы», г. Гродно, Республика Беларусь
[2]Учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», г. Горки, Республика Беларусь

МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ТКАНЯХ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ К БАКТЕРИОЗУ

Аннотация: Изучено 17 сортов картофеля, районированного в Республике Беларусь, установлено, что чувствительными к мокрым гнилям являются клубни сортов Веснянка и Здабытак, среднеустойчивыми – Скарб, Крыница, Лазурит, Лилея, Орбита, самыми устойчивыми сортами – Молли и Дельфин. Среди полученных изменений в содержании свободных аминокислот и их производных наиболее информативными метаболическими изменениями в клетках тканей картофеля с различной степенью устойчивости к бактериозам являются изменения, касающиеся дисбаланса в содержании аспарагиновой кислоты, глутамина, глицина, аргинина, валина, метионина и фенилаланина, установленные между сортами картофеля, характеризующимися наиболее высокой устойчивостью и наиболее высокой чувствительностью к бактериальной мокрой гнили. Выделены 2 основные категории показателей: ведущие (пониженная концентрация аргинина и метионина, повышенное содержание аспарагиновой кислоты у более чувствительных к бактериозам сортам картофеля); и дополнительные (пониженные концентрации глутамина, глицина, валина и фенилаланина) у более чувствительных к бактериозам сортам картофеля, которые могут быть учтены только в комплексе с ведущими показателями и носят второстепенный диагностический характер.

Ключевые слова: бактериоз, картофель, PR-гены, пектолитические бактерии, метаболомика

O.M. Tratsiakova[1], A.A. Glazev[1], O.V. Pavlova[1], V.A. Rylko[2]

[1]Educational institution «Grodno State University named after Y. Kupala», Grodno, Republic of Belarus
[2]Educational institution «Belarusian State Orders of the October Revolution and the Red Banner of Labor Agricultural Academy», Gorki, Republic of Belarus

METABOLIC CHANGES IN TISSUES OF CLUB POTATOES WITH DIFFERENT DEGREE OF RESISTANCE TO BACTERIOSIS

Abstract: Of the 17 varieties studied, it was found that the tubers of the varieties Vesnyanka and Zdabytak were sensitive to wet rot, Skarb, Krynitsa Lazurit, Lileya, Orbita were moderately resistant, and Molly and Dolphin were the most resistant varieties. Among the resulting changes in the content of free amino acids and their derivatives, the most informative metabolic changes in potato tissue cells with varying degrees of resistance to bacteriosis are changes regarding the imbalance in the content of aspartic acid, glutamine, glycine, arginine, valine, methionine and phenylalanine, established between potato varieties , characterized by the highest resistance and the highest sensitivity to bacterial wet rot. There are 2 main categories of indicators: – leading – low concentration of arginine and methionine, high content of aspartic acid in potato varieties more sensitive to bacteriosis; – additional – lower concentrations of glutamine, glycine, valine and phenylalanine in potato varieties that are more sensitive to bacteriosis, which can be taken into account only in combination with the leading indicators and are of secondary diagnostic nature.

Keywords: bacteriosis, potato, PR-genes, pectolytic bacteria, metabolomics

Введение. Сорта картофеля различаются по своей устойчивости к бактериальным инфекциям (мокрой гнили), которая может быть тесно связана с уровнем экспрессии определенных PR-генов, вызывающих одновременно каскад метаболических изменений в растительной клетке. Выявление таких PR-генов и определение характера развития индуцированного дисбаланса низкомолекулярных эндогенных метаболитов – свободных аминокислот и их производных, в растительной клетке в ответ на заражение пектолитическими бактериями позволит вести направленную селекцию различных сортов картофеля с целью повышения степени их резистентности к бактериальной мокрой гнили.

Увеличению потерь картофеля от бактериальных заболеваний способствует также широкое внедрение механизации производственных процессов, при которой возрастают механические повреждения клубней и, следовательно, поражение их бактериозами. Болезни картофеля могут быть вызваны фитопатогенными бактериями, относящимися к родам *Bacillus, Pseudomonas, Corynebacterium, Pectobacterium*. Бактерии *Pectobacterium carotovorum, Pectobacterium atrosepticum, Dickeya dadantii* характеризуются пектолитической активностью и способностью вызывать мацерацию тканей и некроз у различных видов растений. Бактерии повсеместно распространены, вызывают ряд заболеваний высших растений, нанося значительный ущерб сельскому хозяйству. Вредоносность данных бактерий связана с высокой инфекционной способностью возбудителей, несовершенством условий и технологий хранения картофеля, при которых создаются оптимальные условия для интенсивного роста бактерий, в результате чего происходят большие потери картофеля.

Таким образом, существенное влияние бактериальных заболеваний на потери картофеля в процессе его хранения вызывает необходимость целенаправленного решения данной проблемой.

Одной из актуальных проблем современной молекулярной генетики является изучение механизмов регуляции активности генов, и в частности, генов защитного ответа растений. Как известно, при взаимодействии растения с патогеном происходит активация сложной системы защитного ответа растений. При этом в клетках начинается репрограммирование экспрессии различных генов, которая приводит к включению каскадной экспрессии генов защитного ответа и выключению других генов, не участвующих в этом ответе. Изучение особенностей функционирования этих генов показало, что среди множества белков, принимающих участие в развитии ответных реакций организма, немаловажную роль играют белки, связанные с развитием патогенеза (pathogenesis-related protein, PR-белки) [1].

Изучение основных механизмов функционирования генов защитного ответа на основе исследований экспрессии разных генов приведет к более глубокому пониманию процессов, происходящих в растениях во время патогенеза на уровне клеток, а в конечном итоге и всего организма. Новые полученные данные послужат основой для разработки новых способов регуляции активности генов, и могут быть в дальнейшем использованы для создания новых сортов картофеля с улучшенными характеристиками.

К настоящему времени выявлено значительное количество *PR*-генов и белков разных видов растений, для многих из которых изучены особенности структуры и функций, условия активации экспрессии и механизмы их взаимодействия с патогеном. Уже известно 17 классов PR-белков, классифицированных по сходству их аминокислотных последовательностей и имеющих широкий спектр выполняемых функций в клетке [1]. Наряду с опосредованным участием многих PR-белков в защитном ответе, было установлено, что некоторые из них могут быть активированы в результате микробной инфекции, в том числе белок PR-5 [2].

Однако на данный момент применение только генетических методов не позволяет в полной мере выявить и оценить степень устойчивости растений к различным инфекциям.

Проблема может быть решена при совместном использовании молекулярно-генетических и биохимических скрининг-тестов, позволяющих комплексно оценить наличие характерных генетических и метаболических изменений в растительных клетках при различной степени устойчивости к бактериальной патологии.

В метаболоме, как наиболее приближенному к фенотипу, наиболее быстро и выражено отображаются все изменения, происходящие в организме, инициируемые как внутренними, так и внешними факторами. Данное обстоятельство делает метаболомику высокоэффективным средством диагностики различных состояний биологических систем.

Характер формирования фонда низкомолекулярных эндогенных соединений – свободных аминокислот и их метаболитов – в биологических тканях растений является одним из интегральных показателей метаболического баланса и отражает состояние основных обменных процессов при определенном физиологическом состоянии растительных клеток, что предполагает возможность целенаправленного использования характера метаболических изменений в диагностике и оценке степени развития различных функциональных состояний в растительной клетке.

В связи с этим, комплексное применение современных методов определения устойчивости сельскохозяйственных растений к различным бактериозам, включающее использование методов генотипирования и метаболического профилирования, позволит более детально исследовать и понять механизмы формирования резистентности растительных клеток к бактериальным инфекциям, без привлечения и разработки новых дорогостоящих методов генетического скрининга.

Таким образом, целью представленной работы является определение эндогенных концентраций низкомолекулярных биорегуляторов и их метаболитов в клетках тканей сортов картофеля с различной степенью устойчивости к бактериальной мокрой гнили.

Объекты и методы исследований. *Pectobacterium carotovorum (Pc), Pectobacterium atrosepticum (Pa)* и *Dickeya dadantii (Dd) (Erwinia chrysanthemi)* обладают способностью вызывать мацерацию тканей у различных видов растений во время вегетационного периода и при хранении урожая.

Основным свойством упомянутых выше бактерий является способность секретировать ряд внеклеточных деполимеризующих ферментов (пектолитических, целлюлолитических, протеолитических), служащих факторами вирулентности данных бактерий [3].

Pectobacterium carotovorum 2A*, Pectobacterium atrosepticum* 36A и *Dickeya dadantii* ENA49 (коллекция штаммов бактерий кафедры молекулярной биологии, БГУ) выращивали при 28 °С на среде LB в течение 20 ч на термостатируемом орбитальном шейкере (180 об/мин). Для заражения культуры бактерий осаждали путем центрифугирования, клетки разводили в 10 раз физиологическим раствором и доводили до одинаковой оптической плотности (0,2) при 600 нм на спектрофотометре фирмы SOLAR PB 2201.

При определении количества мацерированной ткани картофеля из клубней, простерилизованных посредством обработки спиртом и прожигания, с помощью стерильного скальпеля и пробочного сверла нарезали диски толщиной 1 см и диаметром 18 мм (средний вес диска 2600 мг). Картофельные диски раскладывали по 10 штук на увлажненные фильтры в чашки Петри. На срезы наносили 10 мкл культуры, и диски инкубировали в чашках Петри при определенных температурах в течение 24 ч, после чего взвешивали массу мацерированной ткани. Каждый эксперимент ставили в трехкратной повторности, полученные данные обрабатывали статистически.

В работе были исследованы 17 сортов картофеля, культивируемые в Республике Беларусь: Универсал, Уладар, Дельфин, Молли, Здабытак, Дина, Акцент, Луговской, Явар, Живица, Веснянка, Лилея, Лазурит, Скарб, Рагнеда, Крыница, Орбита.

Для качественного и количественного анализа низкомолекулярных эндогенных соединений (свободных аминокислот и их метаболитов) брали пробы в виде первичного биологического материала (клубни картофеля различных сортов, возделываемых на территории Республики Беларусь), готовили хлорнокислые экстракты образцов.

Отбор проб должен обеспечивать однородность и репрезентативность представленной пробы. Для повышения репрезентативности, уменьшения влияния микрогетерогенности проб и погрешности определения спектра свободных аминокислот и их метаболитов методом жидкостной хроматографии, было приготовлено по пять опытных образцов биологического материала, из каждого образца для анализа были взяты три параллельных пробы.

Для подготовки образцов биологического материала (паренхимы клубней картофеля) для аминокислотного анализа пробы депротеинизировали в специальной среде, содержащей хлорную кислоту, для чего навеску паренхимы картофеля массой 50–100 мг механически гомогенизировали в десятикратном объеме раствора хлорной кислоты в молярной концентрации 0,2 моль/дм^3 в течение двух минут, не достигая нагрева среды выше температуры 10 °С, после чего центрифугировали полученный гомогенат в течение 20 мин при скорости вращения ротора 12000 g и температуре 4 °С.

Полученные супернатанты немедленно отделяли от осадка и фильтровали через мембранные фильтры Millex (Millipore, США) с размером пор 0,45 мкм.

В качестве дериватизирующего реагента для получения флуоресцирующих производных аминокислот, относящихся к первичным аминам, использовали ортофталевый альдегид (Sigma, США) совместно с нуклеофильным модификатором – 3-меркаптопропионовой кислотой (Alfa Aesar, США), а для получения производных аминокислот, относящихся к вторичным аминам, использовали 9-флуоренилметилхлорформиат (Alfa Aesar, США).

До анализа все образцы биологического материала, растворы стандартов свободных аминокислот и их метаболитов хранились при температуре минус 70 °С. После размораживания все пробы повторно центрифугировали при аналогичных условиях и анализировали.

Количественная и качественная идентификация низкомолекулярных метаболитов – свободных аминокислот и их производных – проводилась методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в безбелковых хлорнокислых экстрактах образцов биологического материала на аналитической колонке, заполненной обращенно-фазовым сорбентом Zorbax Eclipse XDB-C8 (с размером частиц – 3,5 мкм), в режиме градиентного элюирования подвижной фазой на основе натрий-ацетатного буфера (с молярной концентрацией 0,1 моль/дм^3) и органического модификатора ацетонитрила в объемной доле – 70 %, при скорости потока элюента – 0,2 см^3/мин, температуре анализа 38 °С и детектирования ортофталевых и флуоренилметилхлороформиатных производных аминокислот по флуоресценции, при длине волны возбуждения – 231 нм и длине волны эмиссии – 445 нм [4].

В расчетах использовался метод анализа данных по внутреннему стандарту.

В качестве внутреннего стандарта использовали δ-аминовалериановую кислоту.

Для качественной идентификации пиков соединений использовали, кроме критерия совпадения времен удерживания со стандартными, анализ их спектров поглощения.

Количественная оценка полученных значений производилась путем сравнения результатов анализа исследуемого образца со стандартной калибровочной кривой искусственной смеси стандартов определяемых соединений, содержащих их равные количества.

Результаты исследований и их обсуждение. Для установления устойчивости к поражению бактериальными мокрыми гнилями наиболее распространенных сортов картофеля, выращиваемого в Республике Беларусь, проведена серия экспериментов с использованием штаммов бактерий *Pectobacterium carotovorum, Pectobacterium atrosepticum, Dickeya dadantii*. Изученные штаммы бактерий различались по вирулентности. Как показали результаты дисперсионного трехфакторного анализа критерия Ньюмена-Кеулса, штаммы *Pectobacterium* различались по вирулентности (степени мацерации тканей клубней картофеля). Наибольшей вирулентностью характеризовались бактерии *Pectobacterium carotovorum* и наименьшей – *Pectobacterium atrosepticum* ($p < 0,05$) [5]. В результате проведенных экспериментов установлено, что изученные сорта картофеля в разной степени устойчивы к бактериальным мокрым гнилям, выявлены устойчивые, среднеустойчивые и чувствительные сорта картофеля к заражению штаммами *Pectobacterium carotovorum, Pectobacterium atrosepticum, Dickeya dadantii*. Было установлено, что чувствительными к мокрым гнилям оказались клубни сортов Веснянка и Здабытак, среднеустойчивыми – Скарб, Крыница Лазурит, Лилея, Орбита, а самыми устойчивыми сортами – Молли и Дельфин, что позволяет рекомендовать их для выращивания на территории Республики Беларусь.

Далее была изучена экспрессия генов *PR-3, PR-5t* и *PR-10* при заражении сортов картофеля Веснянка и Скарб штаммами *Pectobacterium carotovorum* 2А, *Pectobacterium atrosepticum* 36А и *Dickeya dadantii* ENA49 и инкубации при 18 °С, 28 °С и 33 °С. В зараженной ткани клубней картофеля наблюдалась индукция практически всех генов, причем степень индукции зависела от температуры, сорта картофеля и штамма бактерий.

Высокая индукция генов *PR-3* и *PR-10* наблюдалась в тканях клубней сорта Веснянка при заражении бактериями *Pc, Pa, Dd* и инкубации при 18 °С. При более высоких температурах инкубации, уровень экспрессии этих генов резко снижался. Экспрессия гена *PR-5t* напротив стимулировалась при 33 °С и резко снижалась при более низких температурах.

Высокая степень индукции гена *PR-3* и *PR-10* при заражении бактериями *Pc* и *Pa* и инкубации при 18 °С по сравнению с 33 °С была отмечена в тканях клубней сорта Скарб. При заражении бактериями *P.carotovorum, P.atrosepticum, Dickeya dadantii* уровень экспрессии гена *PR-5t* был значительно выше при инкубации при 33 °С по сравнению с 18 °С и 28 °С.

У сорта Скарб уровень индукции *PR-5t* оказался несколько более высоким при заражении штаммами *Pa, Pc* и *Dd* по сравнению с картофелем сорта Веснянка. Причем уровень экспрессии данного

гена в тканях клубней картофеля сорта Скарб будет значительно более высоким в сравнении с сортом Веснянка, если учесть, что уровень индукции рассчитывался по отношению к экспрессии в незараженном картофеле, которая была выше у сорта Скарб [6].

Характер формирования фонда низкомолекулярных эндогенных соединений – свободных аминокислот и их метаболитов – в биологических тканях растений является одним из интегральных показателей метаболического баланса и отражает состояние основных обменных процессов при определенном физиологическом состоянии растительных клеток, что предполагает возможность целенаправленного использования характера метаболических изменений в диагностике и оценке степени развития различных функциональных состояний в растительной клетке.

Для изучения особенностей протекания метаболических процессов в клетках паренхимы клубней 17 сортов картофеля с различной степенью устойчивости к бактериальной мокрой гнили были проведены аналитические исследования содержания широкого спектра низкомолекулярных эндогенных биорегуляторов – свободных аминокислот и их метаболитов как интегральных показателей метаболического гомеостаза растительной клетки.

Сравнительный анализ содержания свободных аминокислот и их метаболитов в паренхиме клубней 17 различных сортов картофеля, возделываемого на территории Республики Беларусь, показал значимые изменения соотношений и концентраций исследуемых групп биологически активных соединений у различных сортов картофеля.

Была выявлена корреляция между степенью устойчивости к бактериальной мокрой гнили и содержанием некоторых аминокислот в клубнях картофеля. Так, например, высокое содержание цистеиновой кислоты, таурина, β-аминомасляной кислоты, коррелирует с высокой чувствительностью сорта Веснянка к заражению фитопатогенами и низкое содержание таких аминокислот как гистидин, глицин, аргинин, тирозин, α–аминомасляная кислота, валин, метионин, триптофан, изолейцин, фенилаланин, лейцин, гидроксипролин по сравнению с другими сортами. Малое количество многих незаменимых аминокислот в подверженном заражению фитопатогенами картофеле, ставит вопрос о целесообразности применения для культивирования данного сорта.

При изучении концентрации свободных α-аминокислот и их основных метаболитов в паренхиме клубней устойчивого к поражению бактериальными гнилями сорта Дельфин было выявлено высокое содержание аспарагиновой кислоты (450,94 ± 6,71 мг/100 г), глутаминовай кислоты (921,87 ± 11,61 мг/100 г), глутамина (695,40 ± 102,53 мг/100 г) и низкое – цистеиновой кислоты (1,09 ± 0,01 мг/100 г).

Было установлено развитие дисбаланса в количественном содержании свободных аминокислот и их метаболитов в растительных тканях различных сортов картофеля с разной степенью устойчивости к бактериальной инфекции.

Различия в аминокислотных спектрах тканей паренхимы клубней сортов картофеля с различной степенью устойчивости в бактериозам представлены на рис. 1, 2.

Среди полученных данных о содержании свободных аминокислот и их производных наиболее информативными, свидетельствующими о метаболических изменениях в клетках тканей картофеля с различной степенью устойчивости к бактериозам являются данные о содержании аспарагиновой кислоты, глутамина, глицина, аргинина, валина, метионина и фенилаланина, установленные у сортов картофеля с разной устойчивостью к исследуемому типу бактериальной инфекции.

Среди исследуемых метаболических параметров по информативности можно выделить 2 основные категории показателей:

- ведущие – пониженная концентрация аргинина и метионина, повышенное содержание аспарагиновой кислоты у более чувствительных к бактериозам сортам картофеля;
- дополнительные – пониженные концентрации глутамина, глицина, валина и фенилаланина у более чувствительных к бактериозам сортам картофеля, которые могут быть учтены только в комплексе с ведущими показателями и носят второстепенный диагностический характер.

Таким образом, комплексное применение современных методов определения устойчивости сельскохозяйственных растений к различным бактериозам, включающее тандемное применение методов генотипирования и метаболического профилирования, позволяет более детально исследовать механизмы формирования резистентности растительных клеток к бактериальным инфекциям, без привлечения и разработки новых дорогостоящих методов генетического скрининга.

Выводы. В результате проведенных экспериментов были определены устойчивые, среднеустойчивые и чувствительные сорта картофеля к заражению штаммами *Pectobacterium carotovorum, Pectobacterium atrosepticum, Dickeya dadantii*. В дальнейшем, возможно, использовать сорта картофеля, которые устойчивы к бактериальным мокрым гнилям для выращивания на территории Республики Беларусь.

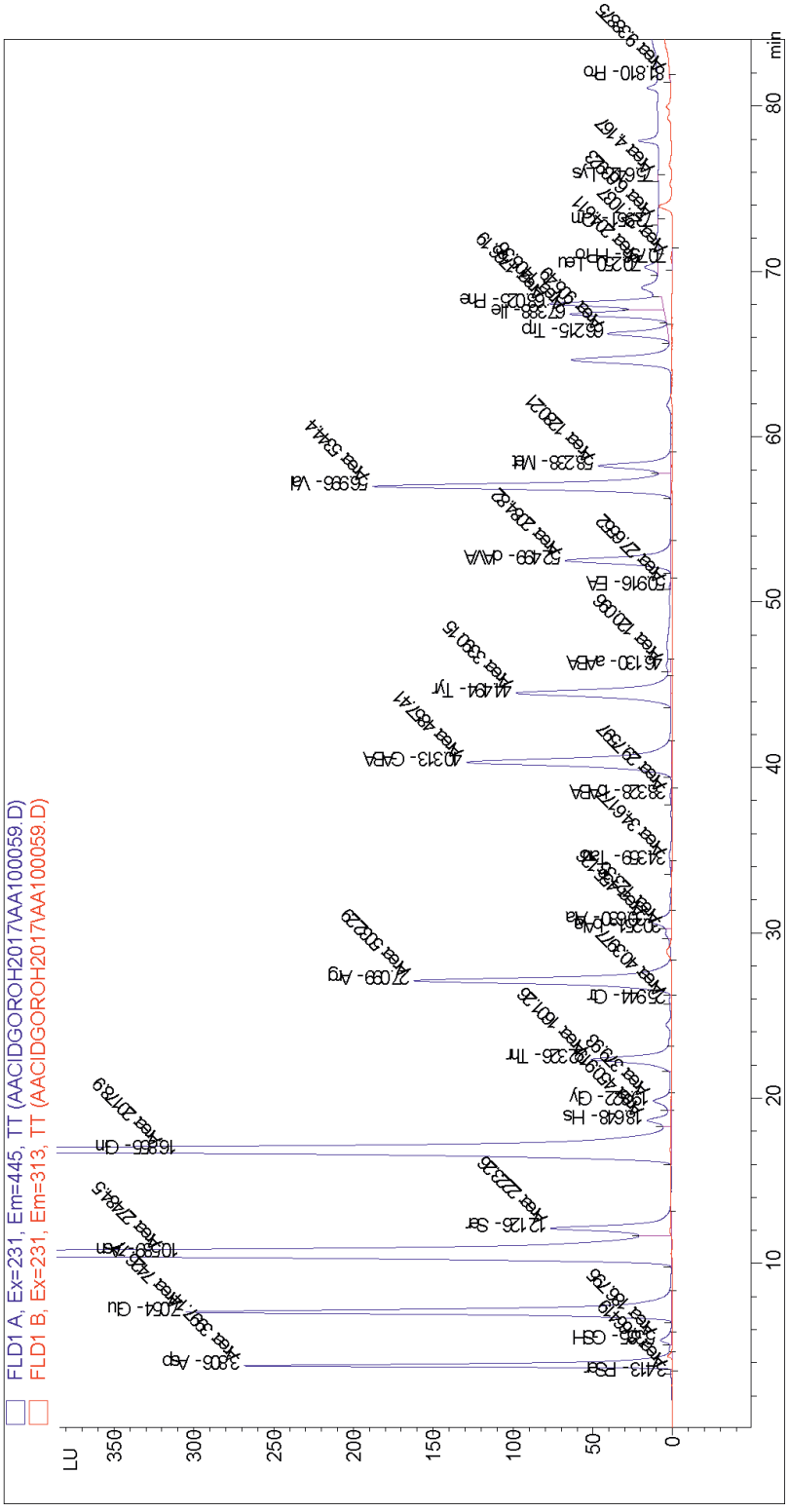

Рис. 1. Хроматограмма аминокислотного профиля клеток паренхимы клубней сортов картофеля с высокой степенью устойчивости к бактериальной мокрой гнили

Fig. 1. Chromatogram of the amino acid profile of the cells of the parenchyma of tubers of potato varieties with a high degree of resistance to bacterial wet rot

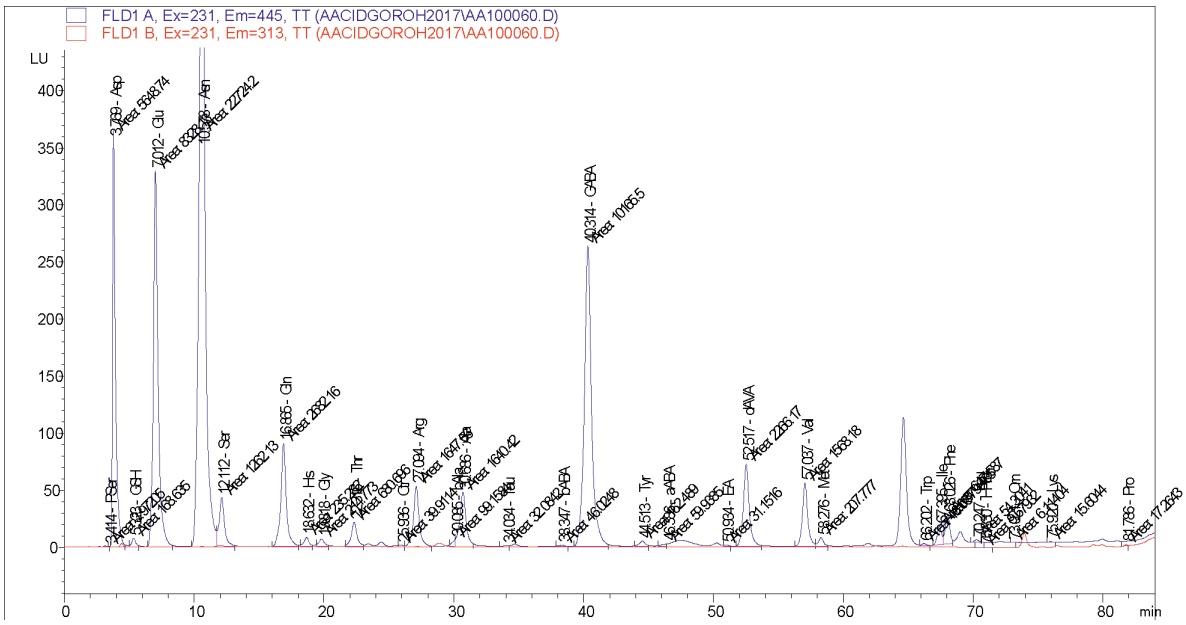

Рис. 2. Хроматограмма аминокислотного профиля клеток паренхимы клубней сортов картофеля чувствительных к бактериальной мокрой гнили

Fig. 2. Chromatogram of the amino acid profile of the cells of the parenchyma of tubers of potato varieties sensitive to bacterial rot

При проведении аналитических исследований содержания широкого спектра низкомолекулярных эндогенных биорегуляторов – свободных аминокислот и их метаболитов как интегральных показателей метаболического гомеостаза растительной клетки – была выявлена закономерность между степенью устойчивости к бактериальной мокрой гнили и содержанием некоторых аминокислот в клубнях картофеля. Установлены наиболее информативные для оценки степени устойчивости различных сортов картофеля к бактериальной инфекции метаболические изменения. Дальнейшее изучение и сравнение полученных результатов приведет к более детальному пониманию процессов, происходящих на молекулярно-генетическом уровне и позволит научно обоснованно рекомендовать сорта картофеля для выращивания в Республике Беларусь.

Благодарности. Работа была выполнена в рамках Фонда БРФФИ № Б17М-160 «Индуцированный метаболический дисбаланс при экспрессии PR генов у сортов картофеля с различной устойчивостью к бактериальным болезням».

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the BRFFR Foundation № B17M-160 «Induced metabolic imbalance in the expression of PR genes in potato varieties with different resistance to bacterial diseases».

Список использованных источников

1. Pathogenesis-related proteins in plants / ed.: S.K. Datta, S. Muthukrishnan. – Boca Raton : CRC Press, 1999. – 288 p.
2. Velazhahan, R. Transgenic tobacco plants constitutively overexpressing a rice thaumatin-like protein (PR5) show enhanced resistance to Alternaria / R. Velazhahan, S. Muthukrishnan. // Plant Molecular Biology. – 2003. – Vol. 47. – P. 347–354.
3. Barras, F. Extra-cellular enzymes and pathogenesis of soft-rot Erwinia / F. Barras, F. Van Gijsegem, A.K. Chatterjee // Annu. Rev. of Phytopathology. – 1994. – Vol. 32. – P. 201–234.
4. Глазев, А.А. Методы жидкостной хроматографии аминокислот и их производных / А.А. Глазев // Тез. докл. IX респ. науч. конф. – 2004. – Гродно, 26–27 мая 2004. – С. 14–15.
5. Третьякова, О.М. Особенности взаимодействия фитопатогенных бактерий с картофелем / О.М. Третьякова // Веснік Гродз. дзярж. ун-та. Сер. 5, Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія. – 2015. – № 2 (193). – С. 126–131.

6. Третьякова, О.М. Экспрессия PR генов картофеля при бактериальной инфекции / О.М. Третьякова, А.Н. Евтушенков // Труды БГУ. – Минск, 2011. – Т. 6. – С. 163–167.

References

1. Datta S.K. Pathogenesis-related proteins in plants / ed.: S. Muthukrishnan. – Boca Raton : CRC Press, 1999. – 288 p.
2. Velazhahan R. Transgenic tobacco plants constitutively overexpressing a rice thaumatin-like protein (PR5) show enhanced resistance to Alternaria / R. Velazhahan, S. Muthukrishnan. // Plant Molecular Biology. – 2003. – Vol. 47. – P. 347–354.
3. Barras F. Extra-cellular enzymes and pathogenesis of soft-rot Erwinia / F. Barras, F. Van Gijsegem, A.K. Chatterjee // Annu. Rev. of Phytopathology. – 1994. – Vol. 32. – P. 201–234.
4. Glazev A.A. Metody zhidkostnoi khromatografii aminokislot i ikh proizvodnykh [Methods for liquid chromatography of amino acids and their derivatives]. Tez. dokl. IX resp. nauch. konf. – 2004. – Grodno, 26 – 27 maia. – P. 14–15 (in Russian).
5. Tret'iakova O.M. Osobennosti vzaimodeistviia fitopatogennykh bakterii s kartofelem [Features of the interaction of phytopathogenic bacteria with potatoes]. Vesnik Grodz. dziarzh. un-ta. Ser. 5, Ekanomika. Satsyialogiia. Biialogiia. – 2015. – № 2 (193). – P. 126–131 (in Russian).
6. Tret'iakova O.M., Evtushenkov A.N. Ekspressiia PR genov kartofelia pri bakterial'noi infektsii [Expression of potato PR genes during bacterial infection]. Trudy BGU. – Minsk, 2011. – T. 6. – P. 163–167 (in Russian).

Информация об авторах

Третьякова Ольга Михайловна – кандидат биологических наук, доцент, заместитель декана факультета биологии и экологии учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» (ул. Ожешко, 22, 230023, г. Гродно, Республика Беларусь). E-mail: o.tratsiakova@yandex.ru

Глазев Антон Анатольевич – кандидат биологических наук, заместитель проректора по научной работе учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» (ул. Ожешко, 22, 230023, г. Гродно, Республика Беларусь). E-mail: glazev@grsu.by

Павлова Оксана Валерьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, физиологии и гигиены питания факультета биологии и экологии учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» (ул. Ожешко, 22, 230023, г. Гродно, Республика Беларусь). E-mail: pavlova@grsu.by

Рылко Виталий Александрович – доцент, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой кормопроизводства и хранения продукции растениеводства учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки, Республика Беларусь) E-mail: khpr-baa@tut.by

Information about authors

Tratsiakova Olga M. – PhD, Associate Professor, Deputy Dean of the Faculty of Biology and Ecology of Yanka Kupala State University of Grodno (22 Ozheshko str., 22, 230023, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: o.tratsiakova@yandex.ru

Glazev Anton A. – PhD, Deputy Vice-Rector for Research of the Yanka Kupala State University of Grodno (22 Ozheshko str., 22, 230023, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: glazev@grsu.by

Pavlova Oksana V. – PhD, Associate Professor of the Department of Technology, Physiology and Food Hygiene of the Faculty of Biology and Ecology of Yanka Kupala Grodno State University (22 Ozheshko str., 22, 230023, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: pavlova@grsu.by

Rylko Vitaly A. – PhD, Associate Professor, Head of the Department of feed production and storage of crop production of the Belarusian State Orders of the October Revolution and the Red Banner of Labor Agricultural Academy (213407, Michurin str., 5, Gorki, Republic of Belarus). E-mail: khpr-baa@tut.by