

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-114-120>
УДК:635.21:631.526.32:632.938

Н.В. Мацишина*, М.В. Ермак,
П.В. Фисенко, И.В. Ким

ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий
Дальнего Востока им. А.К. Чайки»
692539, Россия, Приморский край, г. Уссурийск,
пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30

*Автор для переписки:
mnathalie134@gmail.com

Финансирование. Данная работа финансировалась за счет средств государственного задания № FNGW-2025-0008 «Разработка системы паспортизации отечественных генотипов картофеля с целью повышения эффективности процесса селекции и обеспечения продовольственной безопасности. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Вклад авторов: Н.В. Мацишина: концептуализация, методология, верификация данных, применение статистических методов для анализа данных исследования, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи. П.В. Фисенко: проведение исследования концептуализация, методология, написание-рецензирование и редактирование рукописи. М.В. Ермак: проведение исследования концептуализация, методология, написание-рецензирование и редактирование рукописи. И.В. Ким: концептуализация, методология, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мацишина Н.В., Ермак М.В., Фисенко П.В., Ким И.В. К вопросу об иммунологической оценке сорта картофеля Аскольд. *Овощи России*. 2025;(5):114-120.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-114-120>

Поступила в редакцию: 21.01.2025

Принята к печати: 25.04.2025

Опубликована: 28.10.2025

Natalia V. Matsishina*, Marina V. Ermak,
Peter V. Fisenko, Irina V. Kim

FSBSI "FSC of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika"
Volozenina st., 30, Timiryazevsky stl., Ussuriysk,
Primorsky kray, 692539, Russia

*Correspondence: mnathalie134@gmail.com

Funding. This work was funded by state contract No. FNGW-2025-0008, "Development of a system for certifying domestic potato genotypes to improve the efficiency of the breeding process and ensure food security." No additional grants were received for the conduct or management of this specific study.

Authors' Contribution: N.V. Matsishina: conceptualization, methodology, data verification, application of statistical methods for analyzing research data, conducting research, writing, reviewing, and editing of the manuscript. P.V. Fisenko: conducting research, conceptualization, methodology, writing, reviewing, and editing of the manuscript. M.V. Ermak: conducting research, conceptualization, methodology, writing and reviewing of the manuscript. I.V. Kim: conceptualization, methodology, writing, reviewing, and editing of the manuscript. Conflict of interest. The authors have no conflicts of interest to declare.

For citation: Matsishina N.V., Ermak M.V., Fisenko P.V., Kim I.V. On the immunological evaluation of potato variety "Askol'd". *Vegetable crops of Russia*. 2025;(5):114-120. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-5-114-120>

Received: 21.01.2025

Accepted for publication: 25.04.2025

Published: 28.10.2025

К вопросу об иммунологической оценке сорта картофеля Аскольд

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Селекция на устойчивость к вредителям – наиболее радикальный и эффективный метод снижения огромных потерь, наносимых листогрызущими, сосущими и минирующими насекомыми. Паспортизация сортов картофеля является востребованным инструментом для усовершенствования системы регистрации и сертификации, защиты прав селекционеров и контроля генетической однородности сортов. Описание сорта должно содержать сведения о его молекулярно-генетической и иммунологической оценке.

Цель работы – составление иммунологического паспорта перспективного сорта картофеля Аскольд.

Материалы и методы. Объектом исследования является сорт картофеля Аскольд. В работе по изучению содержания гликоалкалоидов в свежей ткани листьев картофеля, содержанию гормонов стресса, выражаемых в мг% адреналина в теле насекомых и активности собственных протеаз вредителя и ингибиторов протеиназ в картофеле использовали методы по Шпирной с соавт. (2006), Ибрагимову с соавт. (2006), Тукало и Царик (1970). В молекулярно-генетических исследованиях использовали методы по Сайнаковой с соавт. (2018), Стрыгиной с соавт. (2019).

Результаты. Генотип по вариантам гена StAN1, в котором отсутствует основной функциональный вариант r1, при наличии всех остальных можно рассматривать как вариант паспортизации сорта Аскольд. По данным молекулярно-генетической оценки, сорт Аскольд имеет маркеры генов устойчивости к золотистой цистообразующей нематоде, раку картофеля (патотип 1) и фитофторозу. Сорт Аскольд обладает высокой степенью проявления иммунитета, о чем свидетельствует его биохимический профиль, а также наличие репаративных свойств клубней и реакция сверхчувствительности у листьев.

Заключение. Сорт Аскольд является высокоустойчивым к воздействию патогенами и вредителями, что делает его ценным образцом как для селекции, так и для хозяйственной деятельности. Возделывание устойчивых сортов нередко позволяет отказаться от применения пестицидов, что имеет важное значение для уменьшения опасности загрязнения урожая остаточными количествами и обеспечения безопасности для свободнотрофических организмов, и естественных экосистем

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

сорт, картофель, паспортизация, селекция, устойчивость

On the immunological evaluation of potato variety "Askol'd"

ABSTRACT

Relevance. Plant breeding for resistance to pests is the most radical and effective method for decreasing the enormous yield loss caused by leaf-eating, sucking, and mining insects. Passportization of potato varieties is a popular tool for improving the system of registration and certification, intellectual property management, and the control over the genetic homogeneity of plant varieties. Description of a given variety should contain the results of its molecular-genetic and immunological evaluation.

Our research goal Compilation of immunological passport of the promising potato variety Askol'd.

Materials and Methods. Potato variety Askol'd was used as the research object. The methods of Shapiro et al. (2006), Ibragimov et al. (2006), and Tukalo and Zarik (1970) were employed to study the content of glycoalkaloids in fresh leaf tissue of potato plants, the content of stress hormones expressed as mg% of adrenaline in the bodies of insects, and the activity of the proteases of the pest and proteinase inhibitors in potato. The methods of Sainakova et al. (2018) and Strygina et al. (2019) were used in the molecular-genetic research.

Results. The genotype with variants of gene StAN1 lacking the main functional variant r1 can be viewed as a marker for the passportization of potato variety Askol'd if all the other are present. Based on the results of the conducted molecular and genetic evaluation, variety Askol'd had markers of the genes responsible for plant resistance to the golden cyst nematode, potato wart disease (pathotype 1), and Phytophthora blight. Variety Askol'd was observed to have strong immunity. This conclusion could be drawn from its biochemical profile, the reparative ability of tubers, and the response of hypersensitivity in leaves.

Conclusion. Potato variety Askol'd was found to be highly resistant to pathogens and pests. This quality makes the specimen valuable both for breeding and agricultural production. Growing resistant varieties often allows farmers to avoid using pesticides. This plays a significant role in minimizing the threat of product contamination with chemical residues and in preserving the natural ecosystems.

KEYWORDS:

variety, potato, passportization, breeding, resistance.

Введение

Селекция на устойчивость к вредителям – наиболее радикальный и эффективный метод снижения огромных потерь, наносимых листогрызущими, сосущими и минирующими насекомыми. Иммуитет растений к вредоносным организмам – это неповреждаемость их фитофагами и невосприимчивость к возбудителям инфекционных заболеваний. В его основе – иммуногенетические барьеры растений, особенности пищевой специализации консументов и характер их взаимоотношений друг с другом [1, 2, 3]. Степень выраженности иммунитета у растений в большей степени, чем у животных, может проявляться в виде разных градаций – от абсолютного или полного до самых слабых проявлений иммунитета [4,5,6].

Паспортизация сортов картофеля является востребованным инструментом для усовершенствования системы регистрации и сертификации, защиты прав селекционеров и контроля генетической однородности сортов [7]. По нашему мнению, описание сорта должно содержать сведения о его молекулярно-генетической и иммунологической оценке, тем более, что в настоящее время стало очевидным, что один из важнейших рычагов регулирования численности популяций вредных организмов и управление их адаптивной изменчивостью в агроэкосистемах является использование сельскохозяйственных культур, устойчивых к абиотическим и биотическим стрессам [8,9]. В условиях адаптивной интенсификации растениеводства особое значение придается фитоценоческому направлению в селекции сельскохозяйственных культур, предполагающему конструирование генотипов, которые помимо высокой потенциальной продуктивности характеризуются конституциональной устойчивостью к абиотическим и биотическим стрессам и обладают высокой средообразующей производительностью [10]. Это и определило цель данного исследования.

Целью данного исследования является составление паспорта перспективного сорта картофеля Аскольд.

Материалы и методы

Объектом исследования является сорт картофеля Аскольд. Создан методом межсортовой гибридизации. Относится к роду Паслён *Solanum tuberosum* L. Селекционный номер При-15-7-16 Ирбитский × Аврора. Среднеранний (вегетационный период 98-100 дней), накопление ранней продуктивности (на 60-й день после посадки) – 500-600 г/куст. Назначение по использованию продукции – столовое. Средняя урожайность – 46,8-55,6 т/га. Товарный клубень – 120-150 г, содержание крахмала – 12,0-17,6%. Дегустационная оценка: вкус – 8,2-9,0 баллов; разваримость – умеренная; склонность к потемнению мякоти после варки – 7,0-8,0 баллов. Лежкость клубней во время длительного хранения (9 месяцев): 85,0-91,8%. Световые ростки: расположены одиночно по всему клубню. Куст: полупрямостоячий, компактный, средней высоты. Стебли: слабоветвистые; количество – среднее. В поперечном разрезе – угловатые. Цветение: обильное, продолжительное. Соцветие: компактное, многоцветковое. Ягодообразование: редкое. Клубни удлинённо-овальные, глубина глазков от мелкой до средне-мелкой. Кожура красная и мякоть желтая. Оптимальный срок посадки III декада апреля – I декада мая; густота посадки: на продовольственные цели – 50-55 тыс. кл./га, на семенные – 60-65 тыс. кл./га. При механизированной уборке обязательно заблаговременное удаление ботвы. Для получения ранней продуктивности рекомендуется уборка в I

декаде августа, так как сорт способен накапливать на 70-й день после посадки 800-900 г/куст товарных клубней. Сорт предложен для использования по Дальневосточному региону.

Активность метаболитов. В работе по изучению содержания гликоалкалоидов в свежей ткани листьев картофеля, содержанию гормонов стресса, выражаемых в мг% адреналина в теле насекомых и активности собственных протеаз вредителя и ингибиторов протеиназ в картофеле использовали личинок первого летнего поколения картофельной коровки, собранных в полевых условиях на посадках культурного картофеля [11,12]. Отобранных особей, группами по 6-8 шт. подсаживали на листья четырех – пяти верхних ярусов индивидуальных растений картофеля. В качестве позитивного контроля использовали растения устойчивого сорта Belmonda и *Solanum demissum* [13]. В качестве негативного – растения неустойчивого сорта Смак [14].

Для того, чтобы избежать свободного перемещения коровок, их заключали в садки из марли, укрепленные у основания листа. За посаженными коровками периодически наблюдали и удаляли их с растения после того, как коровки уничтожали приблизительно 1/3 часть всей площади листовой пластинки [11,12,15]. Сразу же после этого коровок умерщвляли и использовали для количественного определения адреналина. Часть поврежденного коровками листа срезали ножницами через 1, 3 и 5 суток после начала эксперимента. Контролем, отобранным одновременно с поврежденными листьями, служили: а) неповрежденные листья индивидуальных растений (интактные); б) листья с неповрежденных растений. Для чистоты эксперимента на всех контрольных листьях и листьях в опыте также были укреплены капроновые садки (без коровок). Собранные листья помещали в чашки Петри на влажную фильтровальную бумагу для транспортировки в лабораторию, и не позднее чем через 2 часа приступали к фиксации собранного материала и выделению из него экстрактов белков и гликоалкалоидов [12].

Для определения суммарного содержания гликоалкалоидов в листьях растений картофеля пользовались ускоренным методом, предложенным Тукало и др. [16]. Навеску свежих тканей (0,2-1,0 г) растирали до гомогенного состояния в фарфоровой ступке и переносили в коническую колбу, снабженную обратным шариковым холодильником с водяной рубашкой. В колбу прибавляли 100 мл 2%-ного раствора уксусной кислоты и экстрагировали гликоалкалоиды при постоянном помешивании и нагревании на водяной бане до 65°C в течение 1 часа. Затем раствор фильтровали через бумажный фильтр в мерную колбу на 100 мл; объем полученного раствора доводили до метки (охладив его до 20°C) 2%-ной уксусной кислотой, используемой для ополаскивания конической колбы и промывания осадка растительной массы, оставшейся на фильтре. Аликвоту фильтрата (от 10 до 50 мл в зависимости от величины навески) гидролизировали 30 мин с 1 мл концентрированной соляной кислоты на кипящей водяной бане с обратным холодильником. Затем pH раствора доводили до 4,0 сначала 50%-ным, а затем (после достижения pH, равного 3,8) 1%-ным раствором натриевой щелочи [17]. Полученный раствор количественно переносили в делительную воронку, прибавляли 2 мл 0,05%-ного водного раствора метилового оранжевого и образовавшееся окрашенное соединение экстрагировали хлороформом отдельными порциями по 5 мл, которые

затем собирали в мерную колбу (суммарный объем хлороформа, требуемый для полной экстракции – 25 мл). Оптическую плотность окрашенных растворов определяли против чистого хлороформа на спектрофотометре СФ-26 в стандартных кварцевых кюветах (длина оптического пути – 1 см) при 420 нм. Концентрацию соланидина (агликон, оставшийся после гидролиза гликоалкалоидов соляной кислотой) в хлороформных экстрактах определяли с помощью калибровочного графика. При составлении калибровочного графика 0,1000 г соланидина растворяли в воде в мерной колбе на 100 мл, а далее поступали также как при определении гликоалкалоидов, используя для экстракции хлороформом от 0,1 до 0,6 мл приготовленного раствора соланидина. Полученный калибровочный график имеет форму прямой в пределах концентрации соланидина от 0,004 до 0,024 мкг/мл, соответствующих величинам оптической плотности от 0,07 до 0,4. Именно этого диапазона величин оптической плотности мы старались придерживаться для получения достоверных и строго воспроизводимых результатов о содержании гликоалкалоидов в растительных тканях [17].

амплифицирующих третий экзон обладающий полиморфными совершенными г-повторами [18]. ПЦР проводили в двух повторностях в 10 мкл 2X реакционной смеси БиоМастер HS-Taq ПЦР-Color (без содержания Mg²⁺) (Биолабмикс) с добавлением хлорида магния до оптимальной концентрации (таблица 1) для каждого маркера индивидуально в термоциклере T100 (Bio-Rad). В реакцию использовали 10-50 нг. ДНК матрицы. Для контроля неспецифической гибридизации праймеров использовали холостую пробу, содержащую полную реакционную смесь без добавления ДНК матрицы. Для выявления маркеров генов устойчивости был применен температурный протокол мультиплексной реакции по Сайнакова и др. [19], реакции при этом ставили индивидуально. Для выявления вариантов StAN1 использовали следующий температурный профиль: 95° – 5 мин.; (95° – 30 сек., 55° – 30 сек., 72° – 1 мин.) – 35 циклов; постэлонгация 72° – 5 мин. Продукты ПЦР разделяли электрофорезом в 2% агарозном геле, окрашенном бромистым этидием. Визуализацию фрагментов ДНК проводили облучением УФ с помощью гель-документирующей системы Gel-Doc GO (Bio-Rad). Для сравнения использовались маркеры длин фрагментов Step 50 plus (Биолабмикс).

Таблица 1. Характеристика ДНК маркеров, используемых в исследовании
Table 1. Characteristics of the DNA markers used in the research

Ген	Маркер	Последовательности праймеров	Фрагмент	MgCl ₂ (mM)
ДНК маркеры устойчивости к вирусу Y				
Rysto	YES3-3A (STS)	ТААСТСААГСГГААТААССС ААТТСАСТГТТТАСАТГСТТСТТГТГ	341	0,8
ДНК маркер устойчивости к <i>Globodera rostochiensis</i>				
H1	N195 (SCAR)	TGGAAATGGCACCCACTA CATCATGGTTTCACTTGTCAC	337	0,8
	57 R (SCAR)	TGCCTGCCTCTCCGATTTCT GGTTCAAGCAAAAGCAAGGACGTG	450	0,7
ДНК маркер устойчивости к <i>Globodera pallida</i>				
Gpa2	Gpa2-2 (STS)	GCACTTAGAGACTCATTCCA ACAGATTGTTGGCAGCGAAA	452	2
ДНК маркер устойчивости к вирусу X				
Rx1	PVX (STS)	ATCTTGGTTTGAATACATGG CACAATATTGGAAGGATTCA	1230	2,5
ДНК маркеры устойчивости к <i>Phytophthora infestans</i>				
Rpi-blb1/Rpi-sto1	Rpi-blb 1-820	AACCTGTATGGCAGTG GCATG GTCAGAAAAGGGCACT CGTG	820	0,75
	Rpi-sto 1-890	ACCAAGGCCACAAGAT TCTC CCTGCGGTTCCGTTAAT ACA	890	0,75
ДНК маркер устойчивости к раку картофеля				
Sen1	NL 25 (SCAR)	TATTGTTAATCGTTACTCCCTC AGAGTCGTTTACCGACTCC	1400	1

Молекулярно-генетические исследования. Тотальную ДНК выделяли из зеленых листьев растений с использованием процессора магнитных частиц KingFisher Duo Prime (Thermo Scientific) и коммерческого набора реактивов MagMAX Plant DNA Kit (Applied biosystems).

Для исследования использовали маркеры генов устойчивости к патогенам и вредителям (таблица). В качестве стандарта для сравнения был выбран сорт Метеор, имеющий пять генов устойчивости (Rysto, Rx1, Sen1, Gpa2, H1). Для выявления аллельных вариантов гена *StAN1* (*ANTHOCYANIN1*) использовали пару праймеров (таблица)

Результаты и обсуждение

Сорт картофеля Аскольд (Ирбитский × Аврора) передан в ФГБУ «Госсорткомиссия» в 2023 году. Среднеустойчив к парше, устойчив к альтернариозу, ризоктониозу, раку картофеля, картофельной нематодой, высокоустойчив к фитофторозу, двадцативосьмипятнистой картофельной коровке. Ценность сорта: высокая урожайность, хорошая товарность, привлекательный внешний вид, подходит для механизированной очистки клубней, отличные вкусовые качества, пригоден для хранения в вакуумной упаковке (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид растения и клубней картофеля сорта Аскольд
Fig. 1. Potato variety Askol'd – plant and tubers

В наших исследованиях сорт Аскольд являлся высокоиммунным. Как видно из рисунка 2, при питании личинок картофельной коровки на листьях сорта Аскольд, наблюдается смертность экспериментальных особей, сопоставимая с позитивным стандартом, сортом Belmonda [13].

Питание на сорте Аскольд приводило к удлинению онтогенетических сроков у личинок и вызывало синдром неполного голодания, при котором происходят гетерохронии в

развитии, что сопровождается устойчивым дисбалансом активности собственных ферментов картофельной коровки (рис. 3).

Наибольшая активность липолитического фермента трибутириназы отмечена на сорте Смак, что превышает показатели остальных сортов в 1,3-1,8 раза (рис. 3). По-видимому, при питании на сорте Смак наблюдается нормальный липидный обмен, что позволяет личинкам эффективно

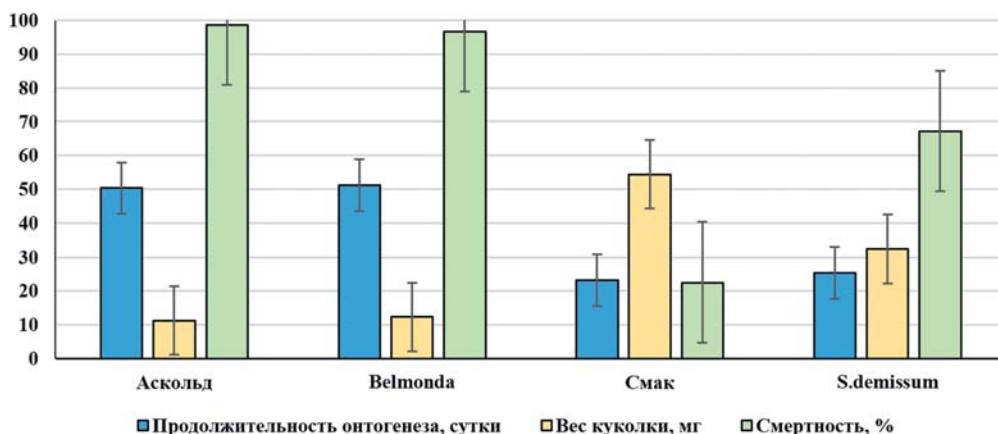


Рис. 2. Продолжительность онтогенеза, вес куколки и смертность особей картофельной коровки при питании листьями картофеля сорта Аскольд

Fig. 2. Duration of the ontogeny, the pupal weight, and the mortality rate of potato ladybird beetles feeding on leaves of potato variety Askol'd

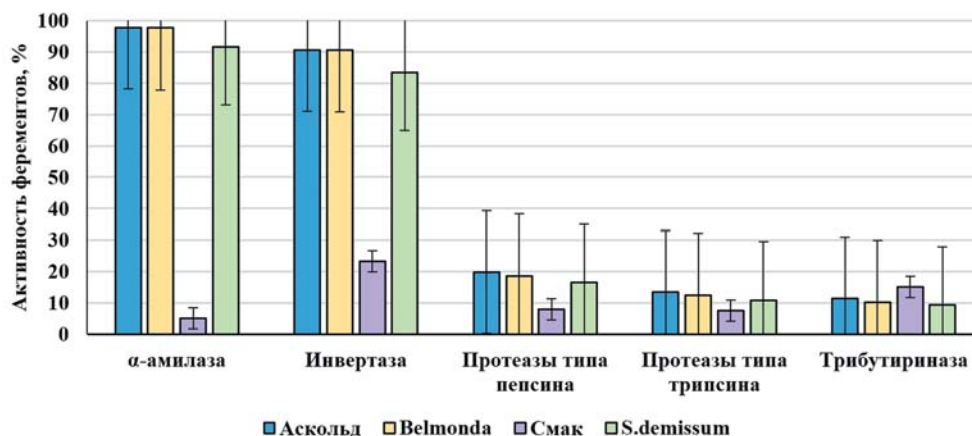


Рис. 3. Активность собственных ферментов картофельной коровки при питании на различных сортах картофеля

Fig. 3. Activity of the enzymes of potato ladybird beetle feeding on different potato varieties

использовать своё жировое тело. В то же время, происходит уменьшение эффективности использования запасных жиров у личинок, кормящихся на отличных от Смака сортах, что приводит к недоразвитию жирового тела [14]. На устойчивых сортах резко замедляется акт питания картофельной коровки (рис. 3). Активность пищеварительных ферментов, гидролизующих белки, углеводы и жиры, повышается. Реакция гиперфункции пищеварительной системы указывает на резкое возрастание энергетических затрат на усвоение пищи при питании на относительно устойчивых сортах и свидетельствует о снижении коэффициента её полезного действия. Физиологически, это свидетельствует о слабом окислении жирных кислот, что затрудняет вхождение углеводов в цикл Креббса, затем в организме ослабляется действие глюкозы на липолиз, происходит гиперактивация липолиза в результате выделения катехоламинов [14].

Этот этап можно характеризовать как фазу тревоги или напряженности обмена веществ в организме. Дальнейшее воздействие физиологически активных соединений вызывает состояние относительной стабилизации энергообмена, о чем свидетельствует включение в него жирных кислот. Происходит стабилизация физиологического состояния организма, которая может либо сохраниться, либо перейти в фазу истощения. В этот период возрастает уровень гормонов стресса, что является свидетельством глубоких нарушений синтеза стеролов, поскольку октапомин и дофамин, являющиеся основными гормонами стресса насекомых,

блокируют выработку холестерина (рис. 4). Уровень гормонов стресса у личинок, питающихся на сорте Аскольд был сопоставимо высоким и превышал негативный контроль более чем в 10 раз. Содержание гликоалкалоидов у растений сорта Аскольд оставались стабильно высокими на всем протяжении эксперимента (рис. 5).

Установлено, что гликоалкалоиды картофеля способны ингибировать ацетилхолинэстеразу, что затрудняет проведение нервного импульса и блокирует координирующую деятельность центральной нервной системы, в том числе и у насекомых [20]. Рядом авторов установлено, что гормоны стресса проявляют специфическое воздействие на нервную систему насекомых и таким образом вызывают смену периодов гиперактивности состоянием прострации. Кроме того, гормоны стресса влияют на такие физиологические состояния организма насекомого, как регуляция углеводного обмена, контроль распада гликогена через образование циклического аденозин-3',5'-фосфата в мышцах, жировом теле, а также уровень свободной трегалозы в гемолимфе насекомого [20]. Гормоны стресса также ингибируют секрецию в гемолимфу проторакотропного гормона, вследствие чего снижается титр гормона линьки, происходит задержка развития, возникают проблемы при прохождении линек [20].

Лабораторная и полевая оценка на устойчивость к фитофторозу показала, что в ответ на заражение, сорт Аскольд демонстрирует реакцию сверхчувствительности. На месте

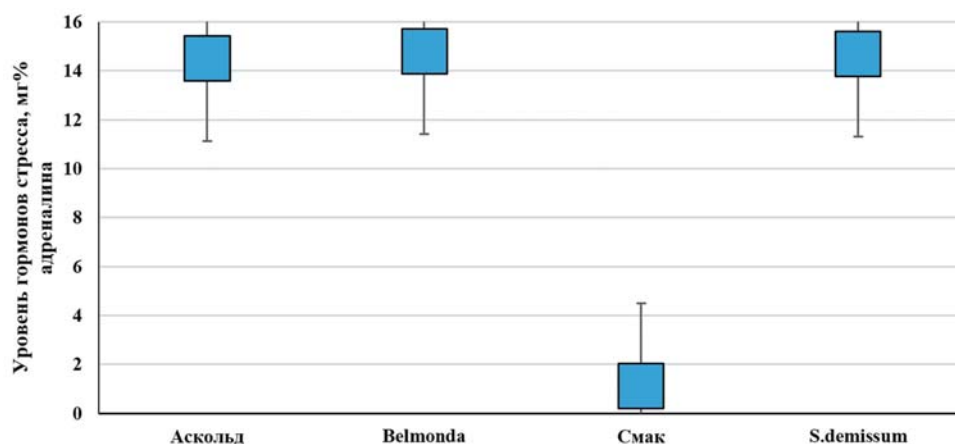


Рис. 4. Уровень гормонов стресса (мг% адреналина) в теле личинок картофельной коровки, питающихся на сорте Аскольд
Fig. 4. Level of stress hormones (mg% of adrenaline) in larvae of the potato ladybird beetle feeding on potato variety Askol'd

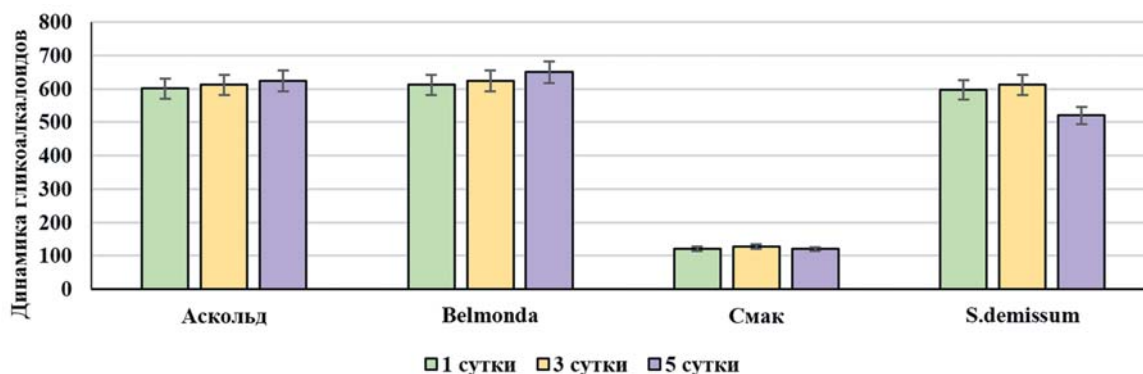


Рис. 5. Содержание и динамика гликоалкалоидов (мг/100 г свежей ткани) в листьях поврежденной картофельной коровкой растений картофеля
Fig. 5. Content and dynamics of glycoalkaloids (mg/100 g of fresh tissue) in the potato leaves damaged by the potato ladybird beetle

Таблица 2. Генетическая характеристика сорта Аскольд.
Table 2. Genetic characteristics of potato variety Askol'd.

	H1		Rx1	Gpa2	Rysto	Sen1	Rpi-blb1/Rpi-sto1		StAN1			
	N195	57R	PVX	Gpa2-2	Yes 3A	NL25	Rpi-blb1-820	Rpi-sto1-890	r0	r1	r2	r3
Аскольд	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+

Примечания: H1 – устойчивость к золотистой цистообразующей нематод; Rx1 – устойчивость к вирусу X; Gpa2 – устойчивость к бледной картофельной нематод; Rysto – устойчивость к вирусу Y; Sen1 – устойчивость к раку картофеля; Rpi-blb1/Rpi-sto1 – устойчивость к фитофторозу; StAN1 – (ANTHOCYANIN1) ген регуляции синтеза антоцианов.

Note: H1 – resistance to the golden cyst nematode; Rx1 – resistance to virus X; Gpa2 – resistance to the pale cyst nematode; Rysto – resistance to virus Y; Sen1 – resistance to potato wart disease; Rpi-blb1/Rpi-sto1 – resistance to *Phytophthora blight*; StAN1 – (ANTHOCYANIN1) gene regulating the synthesis of anthocyanins.

инокуляции образуется некроз, и инфекция не получает развития. По нашим данным, сорт Аскольд не поражается фитофторозом ни по вегетации, ни при хранении.

По данным молекулярно-генетической оценки, сорт Аскольд имеет маркеры генов устойчивости к золотистой цистообразующей нематод, раку картофеля (патотип 1) и фитофторозу (табл. 2).

Кроме того, в целях разработки системы паспортизации нами была изучена изменчивость третьего экзона гена регуляции синтеза антоцианов StAN1, которая заключается в наличии четырех вариантов в зависимости от количества десятиаминокислотных мотивов (от 0 до 3) на С-конце гена, обеспечивающих его регуляторную активность. Вариант без данной аминокислотной последовательности не функционален, имеющий один мотив обладает полной функциональностью, а варианты с повтором – сниженной [18]. Для исследуемого образца выявлен уникальный генотип по вариантам гена StAN1, в котором отсутствует основной функциональный вариант r1, при наличии всех остальных (табл. 2). Полученную генетическую характеристику можно рассматривать как вариант паспортизации образца.

Таким образом, сорт Аскольд является высокоустойчи-

вым к воздействию патогенами и вредителями, что делает его ценным образцом как для селекции, так и для хозяйственной деятельности. Возделывание устойчивых сортов нередко позволяет отказаться от применения пестицидов, что имеет важное значение для уменьшения опасности загрязнения урожая остаточными количествами и обеспечения безопасности для свободноживущих организмов, и естественных экосистем.

Выводы:

1. Генотип по вариантам гена StAN1, в котором отсутствует основной функциональный вариант r1, при наличии всех остальных можно рассматривать как вариант паспортизации сорта Аскольд.

2. По данным молекулярно-генетической оценки, сорт Аскольд имеет маркеры генов устойчивости к золотистой цистообразующей нематод, раку картофеля (патотип 1) и фитофторозу.

3. Сорт Аскольд обладает высокой степенью проявления иммунитета, о чем свидетельствует его биохимический профиль, а также наличие репарационных свойств клубней и реакция сверхчувствительности у листьев.

Литература

- Jansky S. Breeding for disease resistance in potato. In: J. Janick, ed. *Plant breeding reviews*. 1st ed. New York, N.Y.: John Wiley & Sons; 2000;19:69-155.
- Шапиро И.Д., Вилкова Н.А., Слепян Э.И. *Иммунитет растений к вредителям и болезням*. Л.: Агропромиздат; 1986.
- Павлюшин В.А., Вилкова Н.А., Сухорученко Г.И., Фасулати С.Р., Нефедова Л.И. Фитосанитарные последствия антропогенной трансформации агроэкосистем. *Вестник защиты растений*. 2008;(3):3-26. <https://elibrary.ru/kaumhz>
- Шапиро И.Д. Иммунитет полевых культур к насекомым и клещам. Л., 1985. 320 с.
- Koch K.G., Chapman K., Louis J., Heng-Moss T., Sarath G. Plant Tolerance: A Unique Approach to Control Hemipteran Pests. *Front. Plant Sci.* 2016;7:1363. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01363>
- Jansky S. Breeding for Disease Resistance in Potato. *Plant Breed. Rev.* 2000;19:69-155.
- Колобова О.С., Малюченко О.П., Шаваева Т.В., Шанина Е.П., Шилов И.А., Алексеев Я.И., Велишаева Н.С. Генетическая паспортизация картофеля на основе мультиплексного анализа 10 микросателлитных маркеров. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(1):124-127. <https://doi.org/10.18699/VJ17.230> <https://elibrary.ru/xyebgl>
- Конярев А.В. Молекулярные аспекты иммунитета растений и их коэволюции с насекомыми. *Биосфера*. 2017;9(1):79-99.

<https://elibrary.ru/yopehp>

- Вилкова Н.А. Иммунитет растений к вредным организмам и его биоценоотическое значение в стабилизации агроэкосистем и повышении устойчивости растениеводства. *Вестник защиты растений*. 2000;(2):3-15. <https://elibrary.ru/ynillr>
- Кашина Ю.Г., Белов Г.Л., Зейрук В.Н., Дмитриева Л.В. Урожайность, качество и пригодность к переработке различных сортов картофеля при выращивании в условиях Центрального региона РФ. *Овощи России*. 2024;(5):91-97. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-91-97>
- <https://elibrary.ru/bpoflu>
- Шпирная И.А., Ибрагимов Р.И. Использование агарозной пластины для определения активности амилазы слюны. *Тезисы X Международной молодежной школы-конференции*. Владивосток, 2006. С. 52. <https://elibrary.ru/rnxqqt>
- Шпирная И.А., Ибрагимов Р.И., Умаров И.А. Подавление активности гидролитических ферментов личинок колорадского жука растительными белками. *Вестник Башкирского университета*. 2006;11(3):49-52. <https://elibrary.ru/iqlnln>
- Matsishina N.V., Ermak M.V., Kim I.V. Fisenko P.V., Sobko O.A., Klykov A.G., Emel'yanov A.N. Allelochemical Interactions in the Trophic System "*Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky-*Solanum tuberosum* Linneus". *Insects*. 2023;14(5):459. <https://doi.org/10.3390/insects14050459>
- Matsishina N.V., Fisenko P.V., Ermak M.V., Sobko O.A., Volkov D.I., Boginskaya N.G. Traditional Selection Potato Varieties and Their

Resistance to the 28-punctata Potato Ladybug *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) in the Southern Russian Far East. *Indian J. Agr. Res.* 2022;56(4):456-462. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-694>.

15. Шпирная И.А., Ибрагимов Р.И., Шевченко Н.Д. Протеолитическая активность экстракта личинок колорадского жука. *Тезисы докладов конференции «Биология – наука XXI века». Пушино, 2006. С. 103.* <https://elibrary.ru/rnxqqqt>
16. Тукало Е.А., Царик Г.Н. Ускоренный метод количественного определения гликоалкалоидов картофеля. *Науч. докл. высш. школы. Сер.: Биологические науки.* 1970;(12):115-117.
17. Ибрагимов Р.И., Шпирная И.А. Индуцирование активности ингибиторов протеиназ в растительных тканях. *Сборник тезисов докладов II Международного симпозиума «Сигнальные системы клеток растений: роль в адаптации и иммунитете».* Казань, 2006. С. 228-229.
18. Strygina K.V., Kochetov A.V., Khlestkina E.K. Genetic control of anthocyanin pigmentation of potato tissues. *BMC Genet.* 2019;20(1):27. <https://doi.org/10.1186/s12863-019-0728-x>
19. Сайнакова А.Б., Романова М.С., Красников С.Н., Исследование коллекционных образцов картофеля на наличие генетических маркеров устойчивости к фитопатогенам // *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2018;22(1):18-24. <https://doi.org/10.18699/VJ18.326>
20. Ермак М.В., Мацишина Н.В., Собко О.А., Фисенко П.В. Токсическое действие α -томатина на картофельную коровку *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Вестник защиты растений.* 2023;106(4):187-194. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-4-16034> <https://elibrary.ru/keniww>

• References (in Russ.)

1. Jansky S. Breeding for disease resistance in potato. In: J. Janick, ed. *Plant breeding reviews.* 1st ed. New York, N.Y.: John Wiley & Sons; 2000;19:69-155.
2. Shapiro I.D., Vilkova N.A., Slepian E.I. Plant immunity to pests and diseases. L.: Agropromizdat; 1986. (In Russ.)
3. Pavlyushin V.A., Vilkova N.A., Sukhoruchenko G.I., Fasulati S.R., Nefedova L.I. Phytosanitary consequences of anthropogenic transformation of agroecosystems. *Plant protection news.* 2008;(3):3-26. 2008;(3):3-26. (In Russ.) <https://elibrary.ru/kaumhz>
4. Shapiro I.D. Immunity of field crops to insects and mites. L., 1985. 320 p. (In Russ.)
5. Koch K.G., Chapman K., Louis J., Heng-Moss T., Sarath G. Plant Tolerance: A Unique Approach to Control Hemipteran Pests. *Front. Plant Sci.* 2016;7:1363. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01363>
6. Jansky S. Breeding for Disease Resistance in Potato. *Plant Breed. Rev.* 2000;19:69-155.
7. Kolobova O.S., Maluchenko O.P., Shalaeva T.V., Shanina E.P., Shilov I.A., Alekseev Ya.I., Velishaeva N.S. Multiplexed set of 10 microsatellite markers for identification of potato varieties. *Vavilov journal of genetics and breeding.* 2017;21(1):124-127. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJ17.230> <https://elibrary.ru/xyebgl>
8. Konarev A.V. Molecular aspects of plant immunity and their coevolution with insects. *Biosfera.* 2017;9(1):79-99. (In Russ.)

<https://elibrary.ru/yohehp>

9. Vilkova N.A. Plant immunity against pest organisms and its role in stabilizing agroecosystems and plant growing. *Plant Protection News.* 2000;(2):3-15. (In Russ.) <https://elibrary.ru/ynllr>
10. Kashina J.G., Belov G.L., Zeyruk V.N., Dmitrieva L.V. Productivity, quality and suitability for processing of various potato varieties when grown in the conditions of the Central region of the Russian Federation. *Vegetable crops of Russia.* 2024;(5):91-97. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-91-97> <https://elibrary.ru/bpoflu>
11. Shpurnaya I.A., Ibragimov R.I. Using agarose plates to determine the activity of salivary amylase. *Proceedings of the 10th International Conference – School. Vladivostok, 2006. P. 52.* (In Russ.) <https://elibrary.ru/rnxqqqt>
12. Shpurnaya I.A., Ibragimov R.I., Umarov I.A. Suppression of activity hydrolytic enzymes the larvae the potato beetles of protein from plants. *Vestnik bashkirskogo universiteta.* 2006;11(3):49-52. (In Russ.) <https://elibrary.ru/iiqlnn>
13. Matsishina N.V., Ermak M.V., Kim I.V., Fisenko P.V., Sobko O.A., Klykov A.G., Emel'yanov A.N. Allelochemical Interactions in the Trophic System "*Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky-*Solanum tuberosum* Linneus". *Insects.* 2023;14(5):459. <https://doi.org/10.3390/insects14050459>.
14. Matsishina N.V., Fisenko P.V., Ermak M.V., Sobko O.A., Volkov D.I., Boginskaya N.G. Traditional Selection Potato Varieties and Their Resistance to the 28-punctata Potato Ladybug *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) in the Southern Russian Far East. *Indian J. Agr. Res.* 2022;56(4):456-462. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-694>.
15. Shpurnaya I.A., Ibragimov R.I., Shevchenko N.D. Proteolytic activity of an extract from the Colorado beetle larvae. *Proceedings of the Conference "Biology is the Science of 21st century". Pushchino, 2006. P. 103.* (In Russ.) <https://elibrary.ru/rnxqqqt>
16. Tukalo E.A., Tsarik G.N. Rapid method for determine the quantity of glycoalkaloids in potato. *Research papers of the Higher School. Series: Biological Sciences.* 1970;(12):115-117. (In Russ.)
17. Ibragimov R.I., Shpurnaya I.A. Inducing the activity of proteinase inhibitors in plant tissues. *Collection of the abstracts from the 2nd International Symposium "Signal system of plant cells: role in adaptability and immunity".* Kazan, 2006. P. 228-229. (In Russ.)
18. Strygina K.V., Kochetov A.V., Khlestkina E.K. Genetic control of anthocyanin pigmentation of potato tissues. *BMC Genet.* 2019;20(1):27. <https://doi.org/10.1186/s12863-019-0728-x>
19. Sainakova A.B., Romanova M.S., Krasnikov S.N., Litvinchuk O.V., Alekseev Ya.I., Nikulin A.V., Terent'eva E.V. Testing potato collection samples for the presence of genes for resistance to phytopathogens by means of DNA markers. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 2018;22(1):18-24. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJ18.326>
20. Ermak M.V., Matsishina N.V., Sobko O.A., Fisenko P.V. The toxic effect of α -tomatine on THE 28-spotted potato ladybeetle *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Plant protection news.* 2023;106(4):187-194. (In Russ.) <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-4-16034> <https://elibrary.ru/keniww>

Об авторах:

Наталья Валериевна Мацишина – доктор р. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур, <https://orcid.org/0000-0002-0165-1716>, SPIN-код: 7734-6656, автор для переписки, mnathalie134@gmail.com
Марина Викторовна Ермак – младший научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур, <https://orcid.org/0000-0002-3727-8634>, SPIN-код: 1508-8155, ermackmarine@yandex.ru
Пётр Викторович Фисенко – кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур, <https://orcid.org/0000-0003-1227-4641>, SPIN-код: 9916-1382
Ирина Вячеславовна Ким – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории болезней картофеля, <https://orcid.org/0000-0002-0656-0645>, SPIN-код: 4991-4382

About the Authors:

Natalia V. Matsishina – Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher of the Laboratory of Selection-Genetic Research of Field Crops, <https://orcid.org/0000-0002-0165-1716>, SPIN-code: 7734-6656, Correspondence Author, mnathalie134@gmail.com
Marina V. Ermak – Junior Researcher of the Laboratory of Selection-Genetic Research of Field Crops, <https://orcid.org/0000-0002-3727-8634>, SPIN-code: 1508-8155, ermackmarine@yandex.ru
Peter V. Fisenko – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher of the Laboratory of Selection-Genetic Research of Field Crops, <https://orcid.org/0000-0003-1227-4641>, SPIN-code: 9916-1382
Irina V. Kim – Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, Laboratory of Potato Diseases, <https://orcid.org/0000-0002-0656-0645>, SPIN-code: 4991-4382