

DOI: 10.55505/SA.2024.2.05
UDC: 633.15:631.527



ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ЭЛЕКТРОФОРЕЗА ЗАПАСНЫХ БЕЛКОВ В СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВЕ КУКУРУЗЫ

Galina COMAROVA*, ORCID: 0009-0001-0063-4586,
Alexandr ROTARI, ORCID: 0009-0000-3530-853X,
Grigorii BATIRU, ORCID: 0000-0003-4585-6294,
Eugen ROTARI, ORCID: 0009-0007-8171-8100

Universitatea Tehnică a Moldovei, Republica Moldova

*Correspondență: Galina COMAROVA - e-mail: galina.comarova@am.utm.md

Abstract. The article presents an analysis of the stage-by-stage use of the protein electrophoresis method (as a key method of protein chemistry) in the selection and seed production of maize for the period 1988-2023 in the Republic of Moldova. The possibility of using a set of methodological developments (electrophoresis method and computer modeling principles) on a large volume of maize breeding and genetic material has been experimentally substantiated. This methodological complex helps to solve two important problems: the problem of exporting seeds of Moldovan breeding hybrids of maize and for a wide range of research work in the field of genetics and selection and seed production of *Zea mays* L. The analysis of the recent year's results allowed the authors of this article to focus on the development and creation specifics of a catalogue of electrophoretic passports of new generation maize hybrids. The authors consider this catalog as a serious argument for the effectiveness of introducing modern methods of biochemical genetics and computer technologies into agronomic practice, which can be used successfully at the national and international levels.

Keywords: *Maize; Hybrids; Parental lines; Protein electrophoresis; Electrophoretic passports; Computer modeling.*

Реферат. В статье изложен анализ поэтапного использования метода электрофореза белков (как ключевого метода белковой химии) в селекции и семеноводстве кукурузы за период 1988-2023 в Республике Молдова. На большом объеме селекционного и генетического материала приведены экспериментальные доказательства целесообразности применения методологии комплексного использования метода электрофореза и принципов компьютерного моделирования как для проблемы экспорта семян гибридов кукурузы молдавской селекции, так и для широкого спектра научно-исследовательских работ в области генетики, селекции и семеноводства *Zea mays* L. В качестве серьезного аргумента эффективности внедрения в агрономическую практику современных методов биохимической генетики и компьютерных технологий авторы акцентируют внимание на специфике разработки и создания каталога электрофоретических паспортов районированных гибридов кукурузы нового поколения, с целью его использования на национальном и международном уровне.

Ключевые слова: *Кукуруза; Гибриды; Родительские линии; Электрофорез белков; Электрофоретические паспорта; Компьютерное моделирование.*

ВВЕДЕНИЕ

Впечатляющие достижения в области биохимической генетики: клонирование генов, методы с высоким уровнем чувствительности для обнаружения продуктов их экспрессии (в первую очередь – молекулярных форм белка), диагностика ДНК и молекулярных форм белка, технологии редактирования генома, – кардинально изменили методологию исследований и уровень интерпретации полученных результатов (Alseekh et al., 2023; Asad et al., 2023; PanReac AppliChem, 2024; Кутлунина и Ермошин, 2017).

На фоне стремительного углубления теоретических знаний в области биохимической генетики значительно расширилась сфера практического применения одного из ключевых методов исследований – метода электрофореза. В настоящий момент следует констатировать эффективность применения этого метода в нуждах сельского хозяйства (Клименков и др., 2021; Ториков и др., 2019), особенно в области генетики, селекции и семеноводства важнейших сельскохозяйственных культур. В частности, это касается кукурузы – одной из ведущих культур в мировом земледелии (Комарова, 1998).

Для этой культуры в Республике Молдова главным требованием, предъявляемым к поступающим для продажи партиям семян, является гарантия высокого уровня их гибридности для реализации оптимального потенциала урожайности. Закупка семян осуществляется при условии выдачи сертификатов по определению уровня гибридности семян кукурузы. Правом выдачи соответствующих сертификатов обладают лишь аккредитованные аналитические лаборатории. В свою очередь, по современным требованиям, аккредитация лабораторий в Республике Молдова проводится на основе зарегистрированных государством молдавских стандартов. Именно метод электрофореза запасных белков был выбран как методологическая основа для разработки первого национального стандарта по идентификации гибридности семян кукурузы на уровне белковых молекул – «Standard Moldovean SM 233:2003» (2003).

Задача представленной работы состоит в анализе поэтапного использования метода электрофореза запасных белков эндосперма кукурузы, как основы разработки первого национального стандарта Республики Молдова, созданного с использованием молекулярно-биохимического инструментария в условиях быстрого развития информационных технологий (ИТ) на примере эффективности применения элементов ИТ при составлении электрофоретических (ЭФ) паспортов районированных гибридов кукурузы нового поколения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований, проведенных за 35-летний период экспериментальных работ, стал широкий спектр гибридов кукурузы и их родительских линий молдавской селекции, районированных в Республике Молдова в период 1988 - 2023 гг.

Материалом для поэтапного анализа эффективности применения метода электрофореза явились экспериментальные данные, полученные авторами за указанный период и опубликованные в 79 научных работах, перечень которых представлен в «Хронологической ретроспективе научных публикаций, отражающих результаты использования метода электрофореза запасных белков в генетике, селекции и семеноводстве культуры *Zea mays* L.» (Batîru et al., 2023).

- национальный стандарт «Standard Moldovean SM 233:2003» (2003) – «Семена кукурузы. Определение биологической чистоты самоопыленных линий и степени гибридности семян гибридов кукурузы первого поколения методом электрофореза белков»;

- программное обеспечение “FOREZ” для компьютерного моделирования матриц электрофоретических спектров (Комарова и др., 2003);
- алгоритм создания цифровых электрофоретических паспортов белковых профилей гибридов кукурузы и их родительских форм, основанный на модифицированной версии программного обеспечения «FOREZ-2» (Adamciuc et al., 2022);
- системный анализ экспериментальных данных, собранных в период 1988–2023 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На основе применения методологии системного анализа результатов молекулярно-биохимических исследований полиморфизма белков, был проведен следующий поэтапный анализ эффективности использования метода электрофореза (ЭФ) запасных белков эндосперма кукурузы (зеина) в селекции и семеноводстве кукурузы в Республике Молдова.

Этап 1. Изучение эффективности использования метода электрофореза зеиновых белков – как основы создания национального стандарта по определению гибридности семян кукурузы (период 1988 – 2003 гг.).

Разработчиками национального стандарта по идентификации гибридности семян кукурузы методом электрофореза запасных белков являются доктор хабилитат биологических наук А.И. Ротарь (Институт растениеводства «Порумбень», правопреемник Молдавского НИИ кукурузы и сорго) и доктор биологических наук Г.Е. Комарова (Технический Университет Молдовы, факультет Аграрных Наук-правопреемник Государственного Аграрного Университета Молдовы, факультет Агрономии). Под их руководством и непосредственном участии в 1988 году в НИИ кукурузы и сорго Республики Молдова был апробирован метод электрофореза зеина, предложенный учеными из Украины (Попереля и Асыка, 1988) в качестве единого метода для массовых целей селекции и семеноводства кукурузы, возделываемой во многих Республиках бывшего Советского Союза.

В течении 15 лет (1988 – 2003 гг.) в НИИ кукурузы и сорго Республики Молдова и Государственном Аграрном Университете Молдовы были проведены расширенные научно-производственные проверки эффективности метода электрофореза зеина. Эти исследования подтвердили его успешность как альтернативы методу грунт-контроля.

Основные результаты проверки метода электрофореза зеина, а также доработки методики с целью создания национального стандарта, детально изложены в серии научных публикаций авторов и их коллег, выпущенных в период с 1990 по 2004 гг. и охватывают следующие позиции:

1. Проведение производственной проверки и сравнительного изучения эффективности метода ЭФ зеина и полевого метода «грунт-контроля» для выявления линейного материала в партиях гибридных семян кукурузы.
2. Изучение эффективности способа идентификации материнских форм методом ЭФ зеина в гибридном потомстве семян кукурузы в соответствии со схемой гибридологического анализа белковых профилей.
3. Определение биологической и генетической чистоты 539 линий кукурузы, используемых в селекционном процессе и в промышленном семеноводстве, а также степень генетического родства у 2067 образцов, представляющих исходный материал для селекции кукурузы.

4. Оценка уровня гибридности 577 участков гибридизации Республики Молдова и 849 партий семян, полученных с заводов по обработке семян.

В 2003 году был издан национальный стандарт SM 223-2003, в котором впервые, в условиях Республики Молдова, для оценки генетической чистоты семенного материала кукурузы, были использованы критерии на молекулярном уровне - белковые маркеры. В связи с тем, что этот стандарт позволяет проводить объективную сертификацию качества семян коммерческих гибридов кукурузы со значительной экономией времени, его стали широко использовать в первичном и промышленном семеноводстве кукурузы нашей Республики, а также для сертификации экспортируемых семян гибридов кукурузы молдавской селекции за рубеж (Россия, Казахстан, Беларусь).

Этап 2. Первичная разработка матриц ЭФ спектров на основе метода электрофореза и принципов компьютерного моделирования для проблемы экспорта семян гибридов кукурузы молдавской селекции (период 2002 – 2004 гг.).

Успешным примером реализации указанного направления является тот факт, что на протяжении уже более двух десятилетий Республика Молдова по экспорту семян кукурузы в Республику Беларусь занимает лидирующую позицию. История успеха столь продолжительного и эффективного двустороннего сотрудничества состоит в том, что решение проблемы экспорта семян кукурузы высокого качества предусматривает оперативное выполнение всех требований страны-импортера.

С целью усиления реципрокной связи со страной-импортером метод электрофореза зеина, положенный в основу национального стандарта SM 233:2003, был внедрен в «Центральную лабораторию качества семенного материала Белорусской государственной сельскохозяйственной академии» (с 2000 г). Проверка достоверности метода электрофореза зеина для определения уровня гибридности семян кукурузы гибридов первого поколения, в соответствии с национальным стандартом (SM 233: 2003) в лаборатории Государственного центра агрохимической службы „Белгородский” (г. Белгород, Россия), аккредитованной для проведения электрофоретической сертификации коммерческих гибридных семян кукурузы по ОСТ 10 003-93. Полученные результаты свидетельствовали об идентичности результатов оценки уровня гибридности семян, выполненные в НИИ кукурузы и сорго (Молдова) и в Государственном Центре Агрохимической службы “Белгородский” (Россия), и базирующихся на использовании общего редуцирующего агента для расщепления белковых молекул зеина (2-меркаптоэтанола).

Следует отметить, что наш национальный стандарт SM 233:2003 был взят за основу разработки национального стандарта Белоруссии, по которому все закупаемые Белоруссией семена гибридов кукурузы, экспортируемые молдавскими семеноводами, проходят повторную проверку на степень гибридности.

В плане методических доработок в НИИ кукурузы и сорго РМ для электрофоретического изучения линий и гибридов кукурузы молдавской селекции были также расширены и систематизированы следующие процедуры:

а) документирование и обработка электрофореграмм белковых профилей исходных родительских форм создаваемых гибридных комбинации молдавской селекции - с помощью лазерного денситометра (модель SL-2D/1D UV/VIS - U.S.A.) и расчётных формул;

б) составление банка данных о белковых профилях исходных родительских форм, прогнозирования и идентификации полипептидных субъединиц зеина как маркеров гибридности - с помощью компьютерного моделирования по программе „FOREZ”.

В 2002 году со стороны *Министерства сельского хозяйства и продовольствия*, а также *Государственной инспекции по испытанию и охране сортов растений Республики Беларусь* был поставлен вопрос о необходимости предоставления (одновременно с указанным сертификатом) *матриц электрофоретических спектров семян* продаваемых гибридов кукурузы и *электрофоретические паспорта гибридов*, находящихся в испытании. Предъявленные требования послужили основой углубленной разработки методологии компьютерного моделирования получаемых электрофоретических спектров гибридов и их родительских форм (Комарова и др., 2003). Положив в основу принципы расчета формул зеиновых спектров семян кукурузы по внутреннему стандарту, была создана база данных матриц электрофоретических спектров зеина родительских форм всех коммерческих гибридов молдавской селекции периода 1994 – 1996 гг.

Таким образом, продаваемые в Белоруссию партии семян могли быть приняты к продаже только после представления со стороны молдавских семеноводов:

- а) сертификатов, выданных на основе стандарта SM-2003;
- б) соответствующих матриц электрофоретических (ЭФ) паспортов семян родительских форм продаваемых гибридов (на основе принципов компьютерного моделирования по программе „FOREZ”).

Этап 3. Создание центров электрофоретической сертификации и паспортизации районированных гибридов кукурузы (период 2004 - 2019 гг.).

С момента разработки и апробации в 2003 году национального стандарта SM 233:2003, для лаборатории биохимии, физиологии и биотехнологии Института Растениеводства «Порумбень» была начата процедура аккредитации и с декабря 2003 по 2012 гг. именно эта лаборатория стала первым юридическим центром по выдаче сертификатов анализа уровня гибридности семян кукурузы, а также по созданию матриц электрофоретических (ЭФ) паспортов семян родительских форм продаваемых гибридов. Параллельно с этой работой, разработчики национального стандарта SM 233:2003 на кафедре селекции, генетики и биотехнологии сельскохозяйственных культур Аграрного Университета Молдовы провели целенаправленную подготовку кадров (А. Рындуника, А. Михалаки, Н. Скицко, Дм. Кожокару, Г. Батыру, С. Боунегру, И. Ерхан) для апробации указанного стандарта в «Центральной фитосанитарной лаборатории» Республики Молдова.

На текущий момент именно «Центральная фитосанитарная лаборатория» Республики Молдова (ЦФЛ РМ) является единственным учреждением, обладающим с 2009 года *правом официальной выдачи сертификатов* по оценке степени гибридности семян гибридов кукурузы молдавской селекции, предназначенных для коммерциализации как в пределах нашей страны, так и за рубежом.

В то же время, первичная разработка и создание *матриц электрофоретических паспортов* (МЭП) семян экспортируемых гибридов кукурузы и их родительских форм в период с 2002 по 2019 проводились только в лаборатории биохимии и физиологии и её правопреемника - сектора биохимии Института Растениеводства «Порумбень» в содружестве с кафедрой селекции, генетики и биотехнологии культурных растений (2002-2012) и её правопреемника - кафедрой биологии растений Государственного Аграрного Университета Молдовы (2012-2019 гг.). Именно эти матрицы [МЭП], утвержденные Дирекцией Института Растениеводства «Порумбень», гарантировали успешное продвижение экспортируемых партий семян коммерческих гибридов кукурузы молдавской селекции для их повторной проверки методом электрофореза в Республике Беларусь (Ротарь et al., 2008). Следует отметить, что приоритет создания матриц ЭФ паспортов и предоставления их стране-импор-

теру принадлежит исключительно молдавской стороне (Comarova et al., 2016). К сожалению, за период 2002 – 2019 годы он определялся спонтанным характером, т.е. создание ЭФ-матриц зависело от поступающего заказа.

В 2012 году в Государственном Агентстве по Интеллектуальной Собственности Республики Молдова (AGEPI) был издан каталог электрофоретических паспортов родительских форм и гибридов кукурузы молдавской селекции, который был составлен на основе исходного селекционного материала, использованного для создания районированных гибридов кукурузы молдавской селекции за период 1994 – 2009 гг. На протяжении 1995 – 2010 гг. материалы этого каталога были предназначены исключительно для служебного пользования.

Этап 4. Разработка проекта по созданию каталога паспортов ЭФ гибридов нового поколения – современный этап эффективного использования молекулярно-биохимических методов и компьютерного моделирования в селекции и семеноводстве кукурузы (2020-2023 гг.).

В период 2010-2019 годов увеличилось число вопросов по эффективности оформления деловой документации и возникшей специфики взаимодействия между «Белорусской государственной сельскохозяйственной академии», Институтом Растениеводства «Порумбень» и «Центральной фитосанитарной лабораторией» Республики Молдова. Появились гибриды кукурузы нового поколения как отечественной, так и иностранной селекции. Поэтому в 2019 году в плане межведомственного сотрудничества Государственного Аграрного Университета Молдовы и Института Растениеводства «Порумбень» была выдвинута рабочая идея о необходимости создания базы данных в форме каталога электрофоретических паспортов экспортируемого семеноводческого материала кукурузы (гибридов нового поколения), разработанного в цифровой форме на основе национального стандарта SM-2003 для его использования на международном уровне. Оригинальность предложенного исследования состояла в том, что проведение молекулярно-биохимического изучения белкового комплекса семян отечественных гибридов кукурузы и их родительских форм определило научную основу создания и получения технической документации в короткие сроки с гарантией защиты авторских прав селекционеров и семеноводов Республики Молдова.

Предложенная идея и ее аргументация были оценены позитивно, и, как результат, к январю 2020 года был утвержден Институционный Проект 20.80009.5107.21 «Создание каталога электрофоретических паспортов родительских форм и гибридов кукурузы, районированных в Республике Молдова и предназначенных на экспорт» (условное рабочее наименование – «Каталог»).

В период 2020-2023 гг. была проведена интенсивная работа по созданию главных составных элементов планируемого «Каталога» - электрофоретических (ЭФ) паспортов. Были разработаны принципы и методы непосредственного получения результатов исследования запасных зеиновых белков эндосперма кукурузы, их обработки, оцифровки с целью последующего моделирования соответствующих ЭФ паспортов, а также их интерпретации (Adamciuc et al., 2022).

Системный подход к созданию алгоритма получения ЭФ паспортов в цифровом формате, разработка рекомендаций по их интерпретации позволили авторам ввести набор новых количественных параметров, расширяющих диапазон возможностей интерпретации полученных данных не только для процесса сертификации оцениваемых партий семян, но и для более детального обсуждения полученных результатов с целью углубления научного анализа изученного материала (Batîru et al., 2023).

Создание «Каталога», как финального продукта интеллектуальной деятельности Проекта, предусматривало опубликование в нем 65-ти ЭФ-ских паспортов родительских форм и гибридов кукурузы нового поколения, районированных в Республике Молдова, Румынии, Белоруссии, Казахстане и экспортируемых за границу. Паспорта этих гибридов были синтезированы на основе 108 электрофоретических матриц родительских линий по принципу кодоминантности. Издание «Каталога» в декабре 2023 года было проведено с целью предоставления систематизированной официальной документации семенного материала гибридов кукурузы нового поколения для ее юридического и коммерческого использования на экспорт (Batîru et al., 2023).

Спектр использования опубликованного «Каталога» достаточно многогранен. Он предназначен:

а) для бенефициаров-оригинаторов гибридов, экспортируемых из Республики Молдова (Porumbeni, MTI, Novosem, Anmair SV), так как создает возможность получения стабильной гарантии защиты авторских прав на эти гибриды;

б) для семеноводческих фирм, производящих семена кукурузы молдавской селекции - с целью сокращения сроков и повышения качества сертификации экспортируемого семенного материала в «Центральную фитосанитарную лабораторию» РМ.;

в) для сертификационных центров: Республики Молдова («Центральная фитосанитарная лаборатория») и стран-импортеров (в частности, «Центральной лаборатории качества семенного материала Белорусской государственной сельскохозяйственной академии») – официальная передача зарегистрированного в РМ Молдова «Каталога» позволит значительно ускорить повторную проверку на степень гибридности партий семян кукурузы, экспортируемых из Республики Молдова, что, в свою очередь, упрощает процесс продажи экспортируемых семян;

г) для преподавателей высших учебных заведений, студентов, докторантов, специалистов агрономического профиля.

По мнению авторов, создание на основе молекулярно-биохимического изучения белкового комплекса семян кукурузы официального юридического документа (в цифровом формате) - Каталога ЭФ-ских паспортов отечественных гибридов кукурузы и их родительских форм, - представляет экономическую ценность в решении задач по повышению конкурентно способности семенного материала кукурузы молдавской селекции.

Несомненно, издание «Каталога» можно было бы ограничить представлением совокупности разработанных ЭФ паспортов родительских линий и гибридов кукурузы нового поколения молдавской селекции. Однако, учитывая многопрофильность широкого диапазона специалистов, для которых предназначен этот «Каталог», авторы сочли необходимым отразить многоступенчатость этапов подготовки этих ЭФ паспортов для упрощения их интерпретации как в прикладном, так и в исследовательском процессе.

Поэтому, первая часть «Каталога» представляет информацию:

- о принципах отбора гибридов кукурузы и их родительских форм для их ЭФ паспортизации;
- о современном уровне использования метода ЭФ зеина с целью проведения молекулярно-биохимического изучения зеинового комплекса эндосперма зерна кукурузы;
- об алгоритме формирования ЭФ паспортов гибридов кукурузы;
- о новых подходах в моделировании ЭФ паспортов гибридов кукурузы и их родительских линий;
- о специфике интерпретации разработанных ЭФ паспортов.

Во второй части «Каталога» представлены 65 ЭФ паспортов, составленных на основе электрофоретических матриц родительских линий и синтезированных на их основе, по принципу кодминирования, гибридов кукурузы молдавской селекции разных групп спелости (ФАО 100-499).

Созданная в процессе подготовки Каталога исходная база данных ЭФ-паспортов 108 линий кукурузы рассматривается авторами как важная информационная база для логического продолжения Проекта 20.80009.5107.21 в новых институциональных программах по цифровому моделированию коллекции родительских линий кукурузы на уровне белковых молекул, что предполагает продолжение научного сотрудничества Национального Центра исследований и производства семян (правопреемника Института растениеводства «Порумбень») и Факультета аграрных, лесных и экологических наук Технического Университета Молдовы (правопреемника Государственного Аграрного Университета Молдовы).

ВЫВОДЫ

1. Представленная динамика развития научных работ по молекулярно-биохимическим исследованиям полиморфизма запасных белков кукурузы, проведенных в период 1988-2023 в Республике Молдова, свидетельствует об эффективности использования метода электрофореза для идентификации и правовой защиты генотипов кукурузы; для сокращения сроков гибридологического анализа; для оценки подлинности гибридных комбинаций кукурузы первого поколения в год их уборки; для ускорения сроков контроля качества заводских партий семян кукурузы; для идентификации типичности и однородности линейного материала; для массового скрининга изучаемых генотипов кукурузы вплоть до отбора по белковым маркерам ценных для селекционного процесса новых форм.
2. Экспериментально проверена и доказана на большом объеме селекционно-генетического материала целесообразность методологии комплексного использования метода электрофореза и принципов компьютерного моделирования как для проблемы экспорта семян гибридов кукурузы молдавской селекции, так и для широкого спектра научно-исследовательских работ в области генетики, селекции и семеноводства кукурузы.
3. Создание каталога электрофоретических паспортов районированных гибридов кукурузы нового поколения (для использования на национальном и международном уровне) является серьезным аргументом эффективности внедрения в агрономическую практику современных методов биохимической генетики и компьютерных технологий, что расширяет возможности прикладного использования достижений белковой химии в семеноводческую практику на национальном и международном уровнях, а также усовершенствования процесса подготовки студентов агрономического профиля в соответствии с современными требованиями высшего сельскохозяйственного образования Республики Молдова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

4. ADAMCIUC, A.; G. BATÎRU; G. COMAROVA; S. BOUNEGRU and E. ROTARI. (2022). Algorithm for creating electrophoretic passports of maize hybrids. In: *Advanced Biotechnologies - Achievements and Prospects: Materials of Scientific International Symposium*, Ed. 6, Chişinău, 3-4 octombrie 2022. Abstract book. Chişinău: Centrul Editorial-Poligrafic al USM, pp. 7-9. ISBN 978-9975-159-81-4. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/7-9_43.pdf

5. ALSEEKH, S.; E. KARAKAS; F. ZHU; M. WIJESINGHA AHCHIGE and A. R. FERNIE (2023). Plant biochemical genetics in the multiomics era. *Journal of experimental botany*, vol. 74(15), pp. 4293–4307. DOI 10.1093/jxb/erad177
6. ASAD, N.; E. SMITH; S. SHAKYA; S. STEGMAN and L. TIMMONS (2023). Sustainable methodologies for efficient gel electrophoresis and streamlined screening of difficult plasmids. *Methods and Protocols*, 6 (2). Disponibil: <https://doi.org/10.3390/mps6020025>
7. BAȚÎRU, G.; G. COMAROVA; A. ADAMCIUC; S. BOUNEGRU; D. COJOCARI and E. ROTARI. (2023). *Catalogul pașapoartelor electroforetice ale formelor parentale și hibrizilor de porumb omologați în Republica Moldova și destinați pentru export*. Redactor științific A. Rotari. Chișinău: Print-Caro, 132 p. ISBN 978-9975-175-96-8.
8. COMAROVA, G.; A. ROTARI and E. ROTARI (2016). The new way of evaluating the protein polymorphism for Maize breeding and seed production. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, vol. 59, pp. 257-260. ISSN 2285-5785. Disponibil: <https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2016/Art45.pdf>
9. PANREAC APPLICHEM. (2024). *Protein Biochemistry & Electrophoresis*. The ITW Reagents Division website. Disponibil: <https://www.itwreagents.com/italy/en/protein-biochemistry-and-electrophoresis>
10. STANDARD MOLDOVEAN SM 233:2003 (2003). Seminte de porumb. Determinarea purității biologice a liniilor consangvinizate și a gradului de hibridare la semințele hibrizilor de porumb de prima generație prin metoda de electroforeză a proteinelor. Institutul de Stat de Standardizare din Moldova. Ed. oficială. Введен: 01.11.2004. Chișinău: Dep. Moldovastandard. 27 p.
11. КЛИМЕНКОВ, Ф. И.; С. М. ГРАДСКОВ; И. Н. КЛИМЕНКОВА; Н. П. КУЗЬМИНА and В. В. ВОРОНЧИХИН. (2021). Использование метода электрофореза в практике испытательных лабораторий в области семеноводства сельскохозяйственных культур. *Вестник аграрной науки*, № 6 (93), с. 73-78. Disponibil: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-metoda-elektroforeza-v-praktike-ispytatelnyh-laboratoriy-v-oblasti-semenovodstva-selskohozyaystvennyh-kultur/viewer>
12. КОМАРОВА, Г. Е. (1998). Полиморфизм белков в селекционно-генетических исследованиях кукурузы. *Lucrări Științifice. Univ. Agrară de Stat din Moldova. Agronomie*, vol. 6. Chișinău, pp. 14-22.
13. КОМАРОВА, Г.; А. РОТАРЬ и А. АДАМЧУК. (2003). Возможности компьютерного моделирования для паспортизации гибридов кукурузы методом электрофореза". In: *70 ani ai Universității Agricole de Stat din Moldova, Agronomie: Simpozion științific internațional*. Chișinău, pp. 38-40.
14. КУТЛУНИНА, Н. А. и А. А. ЕРМОШИН. (2017). *Молекулярно-генетические методы в исследовании растений*. Учеб.-метод. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 142 с. ISBN 978-5-7996-2142-1. Disponibil: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/52377/1/978-5-7996-2142-1_2017.pdf
15. ПОПЕРЕЛЯ, Ф. А. и Ю. А. АСЫКА. (1988). *Методические указания по электрофорезу зеина кукурузы для определения процента гибридности семян F₁*. Москва. 12 с.
16. РОТАРЬ, А., В. МИКУ, Н. ПЕТРОВА и Г. КОМАРОВА. (2008). Сопоставимость и эффективность электрофоретических методов, используемых в Республике Молдова и Республике Беларусь для сертификации гибридных семян кукурузы. In: *Probleme actuale ale geneticii, fiziologiei și ameliorării plantelor*. Chișinău, Î.S.F.E.-P. 2008, p.443-447.
17. ТОРИКОВ, В. Е.; Н. С. ШПИЛЕВ and Ф. И. КЛИМЕНКОВ. (2019). Использование электрофоретических методов для идентификации сортов зерновых культур. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, № 2 (172), с. 5-12. Disponibil: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-elektroforeticheskikh-metodov-dlya-identifikatsii-sortov-zernovykh-kultur>

Conflict of interests

The authors declare that they have no conflict of interests.

Authors' contributions

This work was carried out in collaboration among all authors. All authors read and approved the final manuscript.

Paper history

Received 25.07.2024; Accepted 22.10.2024

Copyright: © 2024 by the author(s). This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).