

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ГЕНОМИКЕ РАСТЕНИЙ В БЕЛАРУСИ

ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь



Кильчевский Александр Владимирович, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, директор ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси»

e-mail: A.Kilchevsky@igc.bas-net.by

Область научных интересов – генетика, геномика, биотехнология растений.



Сычѐва Елена Анатольевна, кандидат биологических наук, ученый секретарь ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси»

e-mail: E.Sycheva@igc.bas-net.by

Область научных интересов – генетика, цитогенетика растений.

Введение

Существенно выросший в последние десятилетия уровень биологических технологий обеспечил высокую скорость развития биологии как фундаментальной науки, положив начало целому ряду новых научных направлений: геномика, протеомика, метаболомика, иммуномика, транскриптомика. В цепи этих наук первое и ключевое место занимает геномика – современное направление молекулярной биологии, изучающее целые геномы на молекулярном уровне, включая их строение (структурная геномика), расшифровку функций генов и участков генома (функциональная геномика), а также анализ эволюции, родства и дивергенции геномов (сравнительная геномика).

Как отдельная наука геномика сформировалась в 1980–1990-х годах вместе с возникновением первых проектов по секвенированию геномов живых организмов и в последующие десятилетия развивалась ускоренными темпами. Впечатляющие достижения по изучению генома человека, успехи работ по расшифровке полной нуклеотидной последовательности геномов многих десятков простых организмов – вирусов и бактерий, а также ряда представителей растений и животных открыли принципиально новые возможности не только для генетики, но и для многих других наук, связанных с геномом. Стремительное развитие получили такие интегративные направления геномики, как медицинская и эволюционная геномика, этногеномика, фармакогеномика, нутригеномика и др. Наконец, знания о генах, механизмах их экспрессии и регуляции определяют дальнейший прогресс в биотехнологии и геномной инженерии, давно превратившихся в развитых странах мира в высокоприбыльный сектор экономики с миллиардными показателями оборотов.

Учитывая стратегическую важность геномики и ее практических приложений, в Беларуси к данному научному направлению также было привлечено внимание ученых и организаторов науки. Для стимулирования геномных исследований в 2002 году была разработана Государственная программа «Генетическая инженерия» на 2002–2006 гг., реализация которой позволила создать организационные, кадровые и материально-технические условия для развития геномики и генетической инженерии в Беларуси. Дальнейшему развитию геномных исследований способствовало отнесение биотехнологии к приоритетам научно-технической деятельности в Республике Беларусь и принятие национальных биотехнологических программ (рисунок 1), в рамках которых развернуты работы по целому ряду направлений (таблица 1).

Одно из наиболее активно развиваемых направлений геномных исследований в стране – геномика растений. Её достижения стали основой новых методов селекционной работы, базирующихся на использовании молекулярных маркеров и на направленной генно-инженерной модификации.

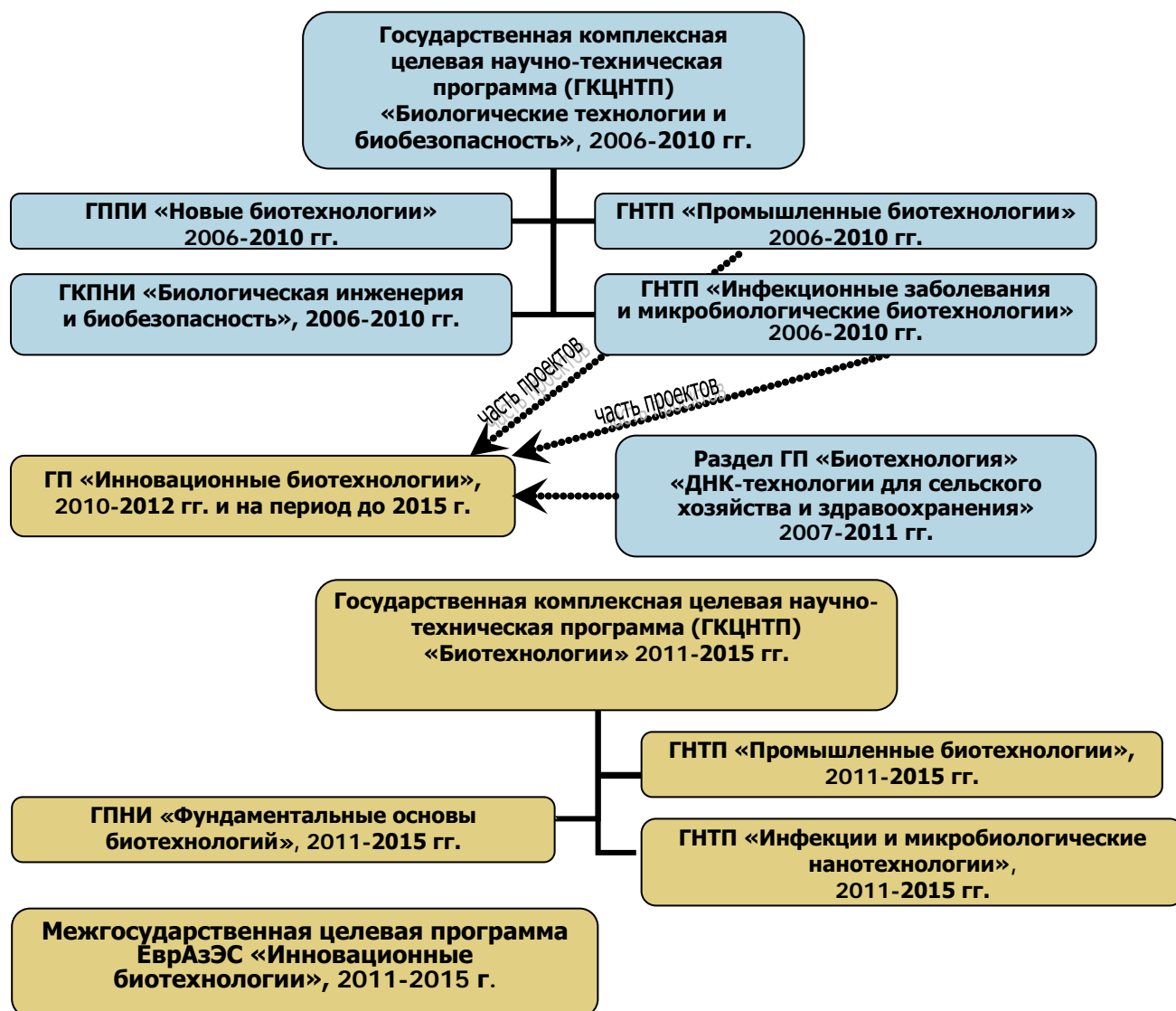


Рисунок 1 – Государственные программы в области биотехнологии на период 2006–2015 гг.

Таблица 1 – Направления геномных исследований в Беларуси

Объекты	Направления	Результаты
Растения	Трансгенез ДНК-маркирование	Трансгенные растения ДНК-идентификация с/х растений Маркер-сопутствующая селекция
Животные	Трансгенез ДНК-маркирование	Трансгенные животные ДНК-идентификация с/х и диких животных Маркер-сопутствующая селекция
Человек	ДНК-маркирование Этногеномика	ДНК-диагностика, прогнозирование и мониторинг наследственно обусловленных заболеваний ДНК-тестирование в спорте Филогенетический анализ
Микроорганизмы	Трансгенез ДНК-маркирование	Трансгенные микроорганизмы ДНК-идентификация штаммов микроорганизмов
Продукты питания	Детекция ГМО	Определение наличия генетически модифицированных ингредиентов в пищевом сырье и продуктах питания

Развитие геномики растений в Беларуси

Первые работы по изучению структурно-функциональной организации геномов растений и молекулярному картированию генов в Беларуси были проведены в 90-х годах на базе нескольких учреждений НАН Беларуси – в Институте генетики и цитологии, Институте леса и Центральном ботаническом саду. В это время были получены оригинальные данные по структуре, полиморфизму и роли в функционировании геномов пшеницы, ячменя и ржи некоторых простых и транскрипционно-активных повторяющихся последовательностей ДНК [1]. Построены генетические карты ряда хвойных видов (ель европейская, сосна обыкновенная, сосна горная, сосна черная, сосна брусткая, кедровый стланик), в которых многие гены локализованы впервые [2]. В ходе совместных исследований с учеными из Германии (г. Гатерслебен, Институт генетики и растениеводства) и России (Санкт-Петербургский университет) впервые создана высоконасыщенная маркерами молекулярно-генетическая карта ржи, на которой локализовано 20 различных морфологических и хозяйственно-ценных генов [3].

В это же время активизируются исследования в области трансгенеза (первые попытки получения трансгенных растений были предприняты в нашей стране ещё в конце 70-х годов [4]). Выделенные и клонированные гены используются для создания генетических конструкций и получения трансгенных растений с принципиально новыми свойствами. Совместно с английскими учеными (Sainsbury Laboratory John Innes Centre, Norwich) на основе плазмиды pGreen0229 созданы векторы с генами биосинтеза рамнолипидов *rhlA* и *rhlB*, которые использованы для генетической трансформации табака и арабидопсиса с целью получения растений, толерантных к высоким концентрациям металлов и нефтепродуктам [5]. Созданы векторные системы, несущие хозяйственно-ценные гены эндохитиназы, глюкозооксидазы, цитохрома P450_{scs}, ингибирования экспрессии генов фосфорилазы С [6]. Получены трансгенные растения табака с геном *CYP11A1* цитохрома P450_{scs} животного происхождения [7], и растения, несущие бактериальные гены *hrpJ* и *hrpW* *Erwinia carotovora* [8].

Впоследствии оформились три магистральные направления геномных исследований растений – создание трансгенных растений, маркер-сопутствующая селекция сельскохозяйственных культур и ДНК-паспортизация сортов и гибридов.

Создание принципиально новых генотипов растений

В настоящее время научные исследования в области генетической инженерии растений в Беларуси ведутся по целому ряду направлений на базе Института генетики и цитологии НАН Беларуси, Центрального ботанического сада НАН Беларуси, Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Белорусского государственного университета, НПЦ по картофелеводству и плодоовощеводству (таблица 2).

Созданы векторные системы, несущие хозяйственно-ценные гены. Оптимизированы и отработаны методы агробактериальной, протопластной, биобаллистической трансформации растений. Получены первичные трансгенные растения картофеля с устойчивостью к колорадскому жуку, вирусам, грибным и бактериальным болезням, представляющие значительный научный и практический интерес [9–11].

В рамках ГП «Инновационные биотехнологии» ведутся работы по созданию клевера с повышенной урожайностью; клюквы с повышенной резистентностью к патогенам и измененным вкусом плодов; устойчивого к глифосату рапса [12]. В планах создание генно-модифицированного льна. Начаты работы по генно-инженерной реконструкции интродуцированных в республике ягодных культур – голубики высокой и брусники обыкновенной, и цветочно-декоративной культуры – гиацинта восточного [13, 14].

Таблица 2 – Направления исследований по генетической инженерии растений в Беларуси

Культура	Эффект	Организация
Картофель	устойчивый к Y-вирусу	НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству
Картофель	устойчивый к некоторым грибным болезням	Институт генетики и цитологии НАН Беларуси Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси
Картофель	устойчивый к насекомым	Институт генетики и цитологии НАН Беларуси
Картофель	синтезируется антимикробные пептиды	Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству
Рапс	синтезируется белок куриного интерферона	Белорусский государственный университет Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси
Рапс	устойчивый к глифосату	Белорусский государственный университет Институт генетики и цитологии НАН Беларуси
Лен-долгунец	модифицированное строение клеточной стенки	Институт генетики и цитологии НАН Беларуси Институт льна НАН Беларуси Белорусский государственный технологический университет
Клевер луговой	повышенная урожайность	Центральный ботанический сад НАН Беларуси Ин-т экспериментальной ботаники НАНБ
Клюква	улучшенные вкусовые качества	Центральный ботанический сад НАН Беларуси
Табак, арабидопсис	устойчивые к тяжелым металлам и нефтепродуктам	Институт генетики и цитологии НАН Беларуси
Табак	с ускоренным развитием и повышенной продуктивностью	Институт генетики и цитологии НАН Беларуси

Создание генетически модифицированных форм картофеля белорусской селекции, устойчивых к грибным патогенам *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea* и *Alternaria solani*

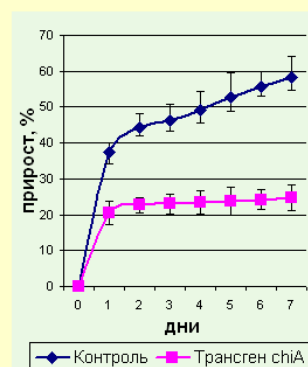
□ Созданы трансгенные растения картофеля сорта Дельфин с геном хитиназы (*chiA*) из *Serratia plymitica*.

□ Оценка по комплексу хозяйственно-ценных признаков и устойчивости к фитопатогенам показала, что экспрессия фермента хитиназы в трансгенных растениях может приводить к повышению их способности ингибировать рост таких фитопатогенных грибов, как *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea* и *Alternaria solani*.

□ Выявлены линии картофеля с геном хитиназы, превышающие контроль более чем на 2 балла по устойчивости к парше серебристой и трансгенные линии с высокой устойчивостью к черной ножке.



контроль трансгенная форма
Поражение листьев картофеля патогеном *Alternaria solani*.



Динамика прироста колоний *Fusarium oxysporum* в присутствии растительного сока на твердой фазе.

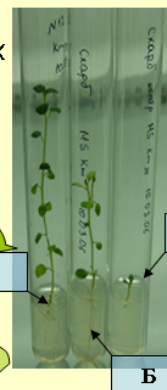
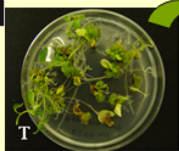
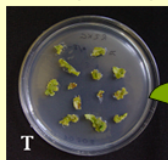
Создание генетически модифицированных форм картофеля, характеризующихся повышенной устойчивостью к насекомым

Созданы векторы, несущие экспрессионные кассеты гена *cry3aM* из *Bacillus thuringiensis*. Генетические конструкции использованы для агробактериальной трансформации листовых дисков картофеля сорта Скарб.

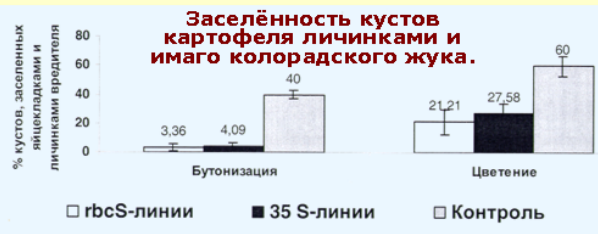
Отбор регенерантов осуществляли при культивировании на селективной среде с канамицином.

Наличие встройки и экспрессии целевого гена подтверждено методами ПЦР, ОТ-ПЦР.

Транскрипционная активность выявлена у 52% образцов для конструкции со светоиндуцибельным промотором и у 60% образцов для конструкции с конститутивным 35S PNH CaMV промотором.



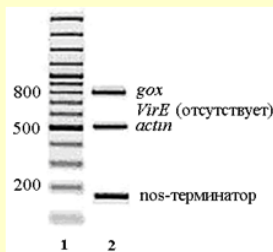
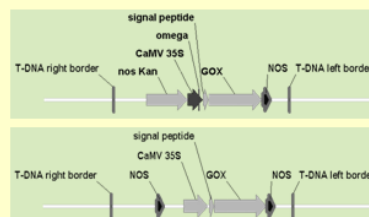
А - Контрольное растение на селективной среде
 Б - Контрольное растение на среде без антибиотика
 В - Растение сорта Скарб после трансформации на селективной среде



Выявлены трансгенные линии картофеля, характеризующиеся повышенной устойчивостью к колорадскому жуку.

Создание генетически модифицированных форм картофеля, характеризующихся повышенной устойчивостью к фитофторозу

На основе вектора pBI121 созданы генетические конструкции с геном *gox* (фермент глюкозооксидаза) из *Penicillium funiculosum* под контролем конститутивного CaMV 35S промотора.



Методом агробактериальной трансформации получено 77 трансгенных линий картофеля сорта Скарб, экспрессирующих функционально активный фермент глюкозооксидазу.

Наличие встройки и экспрессии целевого гена подтверждено методами ПЦР, мультиплекс-ПЦР, ОТ-ПЦР.

Синтез целевого белка и увеличение концентрации пероксида в растительных тканях подтверждены биохимическими методами.

Электрофоретическое разделение продуктов мультиплекс-ПЦР
 • Отсутствие продукта *VirE* – отсутствие агробактериального заражения
 • *actin* – ген домашнего хозяйства (качество ПЦР-реакции)
 • *gox* и *nos* – целевые фрагменты

Отобраны трансгенные линии, показавшие **высокий** и **относительно высокий** уровень устойчивости к *Phytophthora infestans* (возбудитель фитофтороза), в то время как исходный сорт характеризуется средним уровнем устойчивости к фитофторозу.

Успехи в этом направлении ощутимы, но говорить о создании отечественных трансгенных сортов еще рано. Доведенные до промышленного производства белорусские генетически модифицированные формы растений пока отсутствуют, и пройдет не один год экспериментов, испытаний и анализа, прежде чем они выйдут в практику. Такой взвешенный продуманный подход вполне обоснован, принимая во внимание новизну и недостаточный опыт использования достижений генетической инженерии. Исключение возможных биологических рисков при использовании ГМО в долгосрочной перспективе требует проведения широкомасштабных исследований биологии трансгенных растений, постоянного усовершенствования существующих генно-инженерных технологий, а также соблюдения требований и норм международно-правового и национального законодательства по регулированию обращения ГМО. С этой целью в Институте генетики и цитологии НАН Беларуси в рамках ГП «Инновационные биотехнологии» реализуются проекты по оценке биобезопасности трансгенных растений для здоровья человека, животных и окружающей среды и созданию полигона для испытания трансгенных растений при их первом высвобождении в окружающую среду. Ввод в эксплуатацию в 2012 году специального полигона для испытания трансгенных растений позволит перейти к следующей стадии работы с созданными генно-модифицированными организмами.

Маркер-сопутствующая селекция сельскохозяйственных культур

Полученная при расшифровке геномов информация используется для разработки ДНК-маркеров к хозяйственно-ценным генам и признакам сельскохозяйственных животных и растений. В настоящее время молекулярно-генетическое маркирование является одним из приоритетных направлений развития прикладной генетической науки в мире и эффективным способом повышения разрешающей способности отбора и сокращения сроков и затратности селекционного процесса [15].

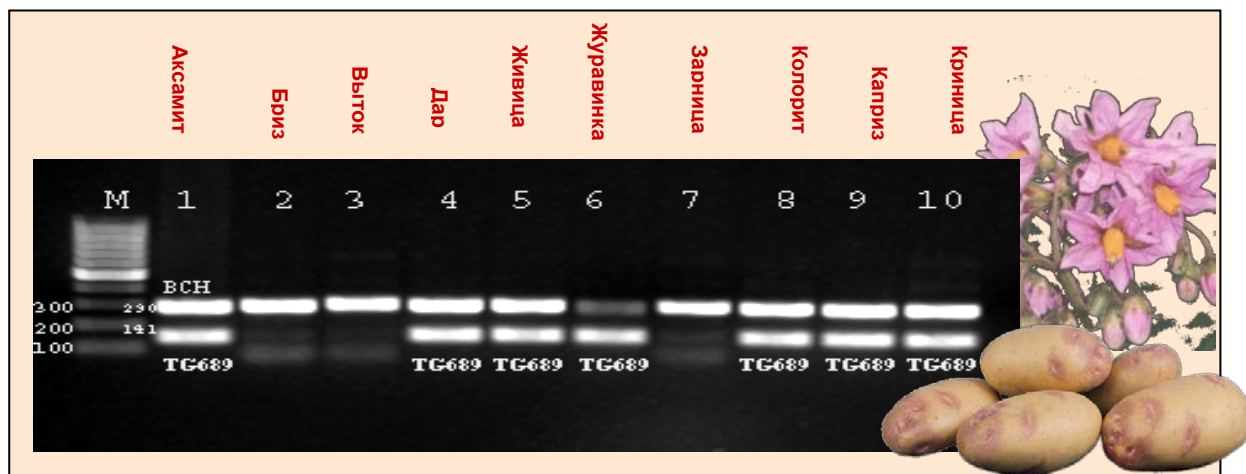
Современные технологии ДНК-маркирования позволяют решать многие вопросы, в том числе такие как:

- выявление доноров агрономически важных признаков;
- маркирование генов устойчивости к болезням и другим биотическим и абиотическим факторам;
- ДНК-маркер сопутствующий отбор;
- определение филогенетических связей между культурными растениями и их дикими родственниками;
- идентификация и паспортизация сортов;
- сертификация партий семян;
- определение генетической чистоты линий и сортов.

Преимущества отбора с использованием молекулярных маркеров по сравнению с традиционными методами налицо. Такой подход позволяет быстро и эффективно тестировать большое количество селекционного материала, тем самым сокращая занимаемые площади и снижая трудозатраты; дает возможность идентифицировать необходимые гены еще до начала их экспрессии, что существенно экономит время, особенно в том случае, когда гены начинают экспрессироваться на поздних стадиях развития растения; значительно повышает эффективность и надежность отбора селекционно-ценных генотипов.

Разработаны и успешно применяются на практике ДНК-технологии, позволяющие оценить качество исходного селекционного материала по наличию желательных для селекционера генов и контролировать их в процессе выведения новых сортов растений с заданными свойствами. В Институте генетики и цитологии НАН Беларуси в настоящее время анализ ведется более чем по 40 генам. Выявлены ДНК-маркеры к генам устойчивости картофеля к болезням (фитофтора, X-, Y-, L- вирусы) и вредителям (цистообразующая нематода) (рисунок 2) [16, 17]. Разработана эффективная технология ДНК-типирования генов лежкости (*rin*, *nor*, *alc*) и измененного содержания каротиноидов (*B*, *og*, *og^c*, *gf*), устойчивости к кладоспориозу и фузариозу у томата [18, 19]. Подобраны ДНК-маркеры,

сцепленные с генами устойчивости яблони к парше, мучнистой росе, красногалловой яблонной тле и бактериальному ожогу [20]. Протестированы серии молекулярных маркеров к генам-восстановителям фертильности у ржи и генам, определяющим хлебопекарные качества, короткостебельность и устойчивость к бурой ржавчине у пшеницы. Совместно с НПЦ по земледелию разработан способ ДНК-маркирования пивоваренного ячменя, позволяющий проводить дифференцировку сортов образцов на кормовой/пивоваренный [21].



1, 4–6, 8–10 – сорта с геном *H1*, определяющим устойчивость к патотипу *Ro1* цистообразующей картофельной нематоды

Рисунок 2 – Результаты ДНК-маркирования сортов картофеля по устойчивости к цистообразующей нематоды

На стадии разработки находятся геномные технологии, позволяющие оценить аллельный состав генов, влияющих на сроки созревания и хранения плодов яблони; устойчивость пшеницы к септориозу, пиренофорозу, стеблевой и желтой ржавчине; определяющих содержание эруковой кислоты в рапсовом масле. В Институте леса НАНБ активно ведутся работы по ДНК-маркированию генов, кодирующих хозяйственно важные признаки хвойных пород растений [22, 23].

ДНК-паспортизация сортов и гибридов

Еще одна проблема, успешно решаемая с использованием ДНК-маркеров – это идентификация и паспортизация сортов растений. В настоящее время для этих целей традиционно применяются методы, основанные на оценке морфологических и биохимических признаков и значительно уступающие молекулярно-генетическим маркерам по точности, разрешающей способности и воспроизводимости результатов анализа.

Для использования в селекции и семеноводстве в Институте генетики и цитологии НАН Беларуси разработана система идентификации и паспортизации сортов растений на основе ДНК-маркеров [24]. Данная система позволяет проводить проверку соответствия новых сортов критериям ООС-теста (отличимость, однородность и стабильность); оценивать генетическую новизну сортов; оценивать соответствие партий семян стандарту при сертификации семенного материала; решать спорные вопросы об авторстве сортов и их чистоте. В настоящее время система ДНК-идентификации сортовой принадлежности адаптирована для десяти основных сельскохозяйственных культур, возделываемых в стране: пшеницы, картофеля, ячменя, льна, томата, сои, подсолнечника, груши, яблони, сахарной свеклы. Для каждого вида подобран набор генетических маркеров, охватывающих различные области генома, достаточный для идентификации сортов и селекционных линий. На основе разработанных систем созданы эталонные генетические паспорта для 81 районированного

сорта сельскохозяйственных растений: пшеница – 18 сортов, томат – 9 сортов, картофель – 49 сортов, лен – 5 сортов.

С целью освоения ДНК-паспортизации в практике разработаны и утверждены на научно-техническом совете Минсельхозпрода РБ методические рекомендации. Институтом генетики и цитологии НАН Беларуси предложена схема государственного контроля закупки семян с использованием ДНК-паспортов (рисунок 3).

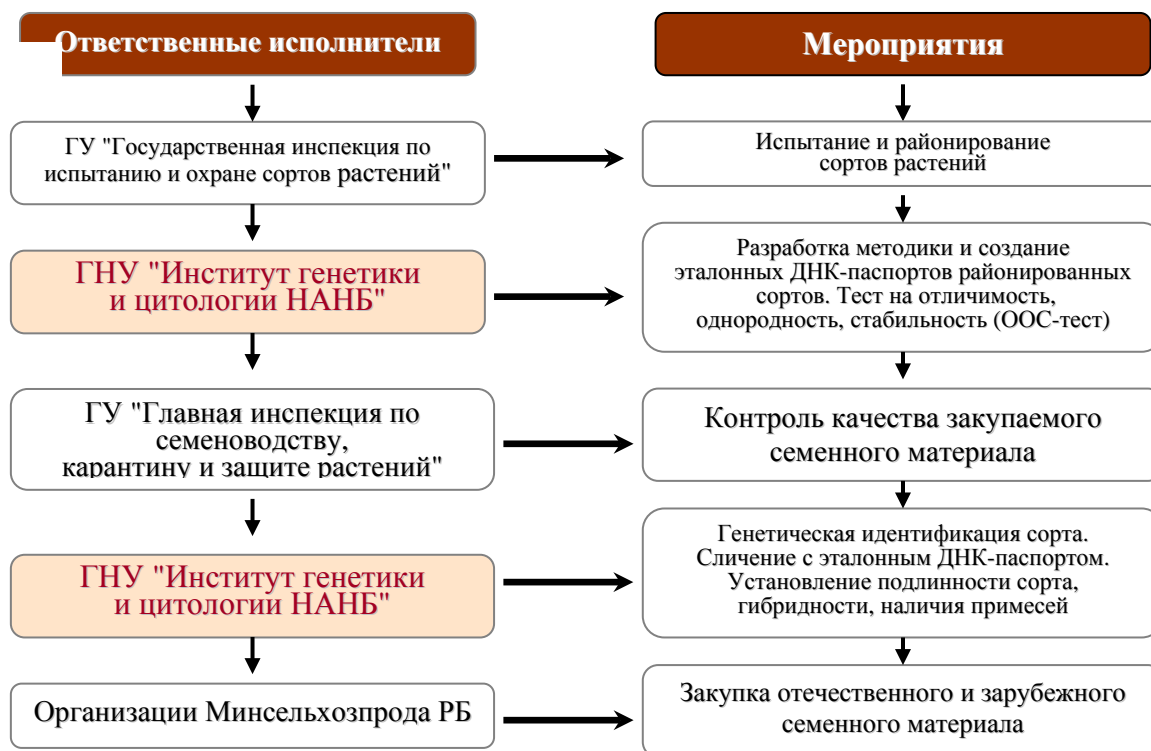


Рисунок 3 – Схема государственного контроля закупки семян с использованием ДНК-паспортов

Совершенно очевидно, что ДНК-паспортизация выводит сортоиспытание и семеноводство на принципиально новый уровень. Её внедрение позволит повысить качество селекционно-семеноводческого процесса в Беларуси и эффективность контроля за создаваемыми в республике сортами; улучшить систему патентования новых сортов; усилить контроль за кондиционностью семян, закупаемых за рубежом; исключить возможность фальсификации сортов и связанных с этим экономических потерь.

Освоение геномных биотехнологий

Благодаря государственной поддержке за последние годы предприняты шаги по созданию инновационной инфраструктуры и формированию отечественного рынка производства и потребления в сфере геномных биотехнологий. Ключевую роль в этом процессе играет Республиканский центр по генетическому маркированию и паспортизации растений, животных, микроорганизмов и человека при Институте генетики и цитологии НАН Беларуси. Он призван решить проблему коммерциализации геномных разработок и ориентирован на оказание услуг учреждениям Минсельхозпрода, Минздрава, Минспорта, Минприроды, а также другим юридическим и физическим лицам.

Инновационный цикл геномных биотехнологий



Основными задачами центра являются: взаимодействие с министерствами и ведомствами Республики Беларусь для координации инновационной деятельности в области геномных биотехнологий; внедрение геномных биотехнологий V и VI технологических укладов в практику сельского хозяйства, здравоохранения, спорта и охраны окружающей среды.

Центр аккредитован в Госстандарте по пяти направлениям (аттестат аккредитации ВУ/112 02.1.01.1599 от 07.12.2009 г.):

- определение наличия генетически модифицированных ингредиентов (ГМИ) в продовольственном сырье и пищевых продуктах;
- определение наличия ГМИ в сельскохозяйственной продукции, кормах и в семенном материале
- определение ДНК-маркеров для идентификации и паспортизации сортов сельскохозяйственных культур;
- определение генов, ответственных за хозяйственно ценные признаки и наследственные заболевания животных;
- определение генов, ответственных за различные индивидуальные особенности человека.

Получена лицензия Минздрава Республики Беларусь на право осуществления медицинской деятельности (№02040/6875 от 17.06.2011г.). Успешно пройдена сертификация на соответствие системы менеджмента качества требованиям стандарта СТБ ISO 9001–2009 (сертификат №ВУ/11205.01.0772597 от 05.12.2011г.).

На базе центра внедрены геномные биотехнологии генетического тестирования по 40 генам устойчивости и качества сельскохозяйственных растений, 25 генам, определяющим хозяйственно ценные признаки сельскохозяйственных животных, 60 генам человека,

связанным с заболеваниями, и 20 генам предрасположенности к высоким спортивным достижениям. В 2011 году выполнено 4497 геномных анализов по договорам с 87 организациями. Выход на проектную мощность запланирован в декабре 2013 года, что составит не менее 6944 геномных анализов в год. Сегодня благодаря открытию центра геномное тестирование стало общедоступным как для учреждений, так и для простых граждан. Однако создание условий для перехода к биоэкономике подразумевает масштабное и повсеместное внедрение геномных биотехнологий в отрасли народного хозяйства, что позволит коренным образом изменить существующие подходы к созданию и производству сельскохозяйственной, продовольственной, фармацевтической и иной продукции, создаст альтернативные пути решения многих проблем, связанных с охраной здоровья и использованием природных ресурсов. Только скоординированные действия научных и отраслевых структур позволят реализовать на практике высокий народнохозяйственный потенциал геномных разработок, получить максимальный социальный и экономический эффект от их внедрения в практику.

Список литературы

1. Урбанович, О.Ю. Анализ структуры повторов BRSI из геномной ДНК ячменя (*Hordeum vulgare* L.) / О.Ю. Урбанович, Н.А. Картель // Цитология и генетики. 1998. – Т.32, №4. – С. 43–49.
2. Генетический анализ лесных видов / В.Е. Падутов [и др.] // Проблемы лесоведения и лесоводства: сборник научных трудов ИЛ НАН Беларуси. – 2005. – Вып 63. – С. 52–58.
3. A genetic linkage map of rye (*Secale cereale* L.) / V. Korzun [et al.] // Theor. Appl. Genet. – 1998. – Vol. 96. – P. 203–208.
4. Хотылева, Л.В. Развитие генетических исследований в Национальной академии наук Беларуси / Л.В. Хотылева, Н.А. Картель, А.В. Кильчевский // Вестник ВОГИС. – 2005. – Т. 9, № 4. – С. 463–471.
5. Brichkova, G. Bioremediation with ecologically safe plant / G. Brichkova, A. Sorokin, N. Kartel // Genomic in Plant Biotechnology. – Nat. Sci. Series. – 2004. – Vol. 359. – P. 147–158.
6. Картель, Н.А. Разработки по генетической инженерии в интересах сельского хозяйства и медицины / Н.А. Картель, В.А. Лемеш // Наука и инновации. – 2007. – №6. – С. 32–37.
7. Некоторые особенности стероидогенеза и фенотипа трансгенных растений табака, экспрессирующих ген CYP11A1 цитохрома P450scs животного происхождения / С.Г. Спивак [и др.] // Материалы международной научной конференции «Рецепция и внутриклеточная сигнализация», Пушино, 6–8 июня 2005 г. – С. 390–393.
8. Присяженко, О.К. Получение трансгенных растений табака, несущих бактериальные гены системы секреции третьего типа *Erwinia carotovora subsp. Atroseptica* / О.К. Присяженко, А.Н. Евтушенков // Материалы международной научной конференции «Молекулярная генетика, геномика и биотехнология», Минск, 2004 г. – С. 143.
9. Исаенко, Е.В. Генетическая модификация картофеля: достижения и перспективы / Е.В. Исаенко, А.В. Шахбазов, Н.А. Картель // Весці Нац. Акад. навук Беларусі, Сер. Біял. Навук. – 2007. – №3. – С. 110–115.
10. Родькина, И.А. Особенности экспрессии целевого признака устойчивости к УВК в генеративном поколении трансгенного картофеля / И.А. Родькина, Г.А. Яковлева // Картофелеводство: сборник научных трудов / РУП "Научно-практический центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству". – Минск, 2008. – Вып. 14. – С. 102–114.
11. Трансгенные растения картофеля белорусских сортов, экспрессирующие гены антимикробных пептидов цекропин-мелиттинового типа / Н.Л. Вутто [и др.] // Генетика. 2010. – Т.46. – №9. – С. 1–9.

12. Оптимизация условий селективного отбора после генетической трансформации клюквы крупноплодной / В.Н. Решетников [и др.] // Сборник научн. трудов «Молекулярная и прикладная генетика». – Минск, 2006. – Т. 3. – С. 101–104.

13. Антипова, Т.В. Опосредованная *Agrobacterium tumefaciens* транзистентная экспрессия uidA гена в эксплантах брусники обыкновенной / Т.В. Антипова, В.Л. Филипеня, В.Н. Решетников // Сборник трудов Международной конференции «Теоретические основы применения биотехнологии, генетики и физиологии растений в современной селекции растений и растениеводстве», Брянск – Минск – Люблин, 2009 г. – С. 3–7.

14. *Agrobacterium*-mediated transformation of *Hyacinthus orientalis* with thaumatin II gene to control fungal diseases / E.A. Popowich [et al.] // Plant Cell Tiss. Organ Cult. – 2007. – Vol. 90. – P. 237–244.

15. Картель Н.А., Кильчевский А.В. Биотехнология в растениеводстве. – Мн.: Тэхналогія, 2005. – 309 с.

16. Оценка исходного материала картофеля для селекции на устойчивость к болезням и вредителям с помощью специфических ПЦР-маркеров / А.П. Ермишин [и др.] // Методические рекомендации, Минск: Право и экономика, 2010. – 60 с.

17. Использование ПЦР-анализа для идентификации генов устойчивости картофеля к *Globodera rostochiensis* / Н.В. Павлючук [и др.] // Вести НАН Беларуси, сер. биол. наук. – 2010. – №2. – С. 36–41.

18. Разработка методов ДНК-типирования генов *rin*, *nor* и *alc*, используемых для повышения лежкости плодов томата / С.В. Малышев [и др.] // Материалы междунауч. конф. «Генетика и биотехнология XXI века. Фундаментальные и прикладные аспекты». – Минск, 2008. – С. 126–128.

19. Молекулярные маркеры в изучении хозяйственно-ценных признаков сельскохозяйственных культур / Н.А. Картель [и др.] // Молекулярная и прикладная генетика. – 2009. – Т. 9. – С. 19–27.

20. Результаты отбора гибридных семян яблони на устойчивость к парше фитопатологическими и молекулярными методами / О.Ю. Урбанович [и др.] // Молекулярная и прикладная генетика. – 2008. – Т. 8. – С. 113–119.

21. Определение доноров термостабильных аллелей β-амилазы ячменя / Н.В. Луханина [и др.] // Генетика. – 2010. – Т. 46, №1. – С. 127–130.

22. Сравнительный анализ уровня генетического разнообразия лиственницы европейской из искусственных и естественных насаждений / С.И. Ивановская [и др.] // Международная научно-практическая конференция «Наука о лесе XXI века (Гомель, 17–19 ноября, 2010 г.). – Гомель: Институт леса НАНБ, 2010. – С. 178–182.

23. Уровень генетической изменчивости разновозрастных групп сосны обыкновенной в насаждении естественного происхождения / С.И. Ивановская [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство. – Мн., 2010. – Вып. XVIII. – С. 200–202.

24. Малышев, С.В. Идентификация и паспортизация сортов сельскохозяйственных культур (мягкой пшеницы, картофеля, льна и свеклы) на основе ДНК маркеров / С.В. Малышев, О.Ю. Урбанович, Н.А. Картель // Методические рекомендации, Минск. – 2006. – 27 с.

RESEARCH TRENDS IN PLANT GENOMICS IN BELARUS**A.V. Kilcheuski, Y.A. Sycheva***Institute of genetic and cytology of NAS of Belarus, Minsk, Belarus*

Main trends of plant genomics and research results in that area in Belarus are analyzed in the review. The basic attention is focused on practical use of the achievements in plant genomics. The status of the development of innovative frameworks and the formation of a complete innovation cycle in genomic technologies are discussed.

First investigations of structural and functional plant genome patterns and gene molecular mapping have been carried out in Belarus within 1990s. The original data of structure, polymorphism and significance of some simple and transcriptional active repetitive DNA sequences for plant genomic functioning have been obtained, and gene maps of a number of coniferous species were constructed. A highly saturated molecular genetic map of rye was developed by joint investigations of scientists from Germany and Russia. At the same time, research in the area of plant transgenesis was also activated in our country (first attempts for developing transgenic plants took place in our country at the end of 1970s).

Three main trends in plant genomics have been formed afterward – development of transgenic plants, marker associated selection of crops and DNA certification of varieties and hybrids.

At present, there are a number of research trends in the area of plant genomics. Transgenic potato plants resistant to Colorado beetle, viruses, fungal and bacterial diseases were developed. Development of the transgenic clover, cranberry, rape and flax is under way. Genetic engineering reconstruction of berry species (tall bilberry high and cowberry) and flower decorative variety, namely, *Hyacinthus orientalis*, which were introduced in the republic, was started. The special field for transgenic plant trial named as “polygon” is close to be completed. This trial field will allow to start the next phase of genetically modified organism investigation.

Information obtained during genome reading is used for development of DNA-markers to reveal the economically valuable genes and traits of crops. Molecular markers allow evaluation of the quality of the initial selection material for genes desired by breeder and their monitoring during the development of new plant varieties carrying specified features. DNA-markers to potato genes coding the resistance to diseases and pests were identified. The effective technology of DNA identification of tomato genes coding such traits as shelf-life, altered carotenoid content and resistance to cladosporiosis and fuzariosis was developed. DNA-markers associated with genes of apple resistance to scab, powdery mildew, red-gallic apple aphid and fire blight were selected. The series of molecular markers to rye fertility restoration genes and wheat genes coding bread baking quality, short-stokedness and resistance to wheat brown rust were tested. The method of malting barley DNA-marking, which allows differentiation varieties in to forage ones and malting ones, was worked out. DNA-marking of genes coding economically valuable features of coniferous species are actively performed.

DNA markers are well used for identification and certification plant cultivars. There is another problem easily solvable by using of DNA-markers – identification and certification of plant cultivars. At present, the system of cultivar DNA-identification is adapted for ten main crops cultivated in the country, namely: wheat, potato, barley, flax, tomato, soybean, sunflower, pear, apple and sugar beet. The Reference Genetic Certificates for the released crops were developed.

The Republican Center for Genetic Marking and Certification of Plants, Animals, Microorganisms and Human at the Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus plays the key role in the mastering of genomic biotechnologies. This Republican Centre should solve a problem of genomic project commercialization. It is focused on rendering services of Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, Ministry of Health of the Republic of Belarus, Sport and Tourism Ministry of the Republic of Belarus, Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus and for Entities and Individual Entrepreneurs.