

Геномное редактирование и перспективы селекции

В настоящее время ведется работа над нацпроектом «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности». Его реализация позволит снизить зависимость от импорта по ряду важнейших направлений. Нацпроект будет включать в себя восемь федеральных проектов, среди них, - «Селекционная и генетическая независимость АПК».

К 2030 году показатель самообеспеченности семенами планируется довести в среднем до 75% (Табл. 1).

Таблица 1

Уровень самообеспечения РФ семенами отечественной селекции (Распоряжение Правительства РФ от 23.12.2022 N4133-р «Об утверждении перечня основных сельскохозяйственных культур и ежегодных плановых значений уровня самообеспечения страны семенами отечественной селекции по каждой из таких культур (до 2030 года), а также перечня основных видов сельскохозяйственных животных и ежегодных плановых значений уровня самообеспечения страны племенной продукцией (материалом) отечественного производства по каждому из таких видов до 2030 года»)

Наименование сельскохозяйственных культур	Годы								
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Пшеница озимая	92	92,5	93	93,5	94	95	95	95	95
Пшеница яровая	74,3	77,5	78	78,5	79	79,5	80	81	82
Рис	92,7	95	95	95	95	95	95	95	95
Зернобобовые	36,3	45	46	48	50	55	60	70	75
Овес	79,9	81,5	82	82,5	83	83,5	84	85	85
Ячмень яровой	70,3	71	72	75	76	77	78	79	80
Соевые бобы	43,5	48	50	52	54	60	65	70	75
Рапс яровой	30,6	31	32	33	40	50	60	70	75
Подсолнечник	23	25	30	50	55	60	65	70	75
Кукуруза	41,8	45	48	50	55	60	65	70	77
Картофель	6,7	9	10	11	12	13	14	15	50
Сахарная свекла	1,8	2,5	3	4	6	9	11	15	50

Даже в это в то же время, судя по цифрам, возможность прекращения поставок импортных семян всё ещё останется серьёзной угрозой некоторым сегментам российского растениеводства, а значит и АПК в целом. Пока РФ активно наращивает собственные мощности по производству семенного материала в условиях ограниченного доступа к иностранной селекции.

А каковы мировые инновационные тренды для этого направления?

В настоящее время наиболее быстрым и эффективным методом получения растений с желаемыми признаками является геномное редактирование CRISPR/Cas. Основное его отличие от традиционной генной инженерии состоит в том, что редактирование производится в заранее известном месте генома. Поэтому помимо прикладного применения, геномное редактирование все чаще используют в фундаментальных исследованиях функций собственных генов растений. Однако технология CRISPR/Cas до сих пор изучается в большей степени не на растениях, а на бактериальных и животных объектах. Тем не менее, существуют простые в применении системы векторов, содержащие широкий ассортимент элементов для редактирования генома растений, а также регуляции экспрессии целевых генов.

Что требуется от исследователя? Нужно только выбрать подходящую ему систему и адаптировать ее под свой объект и цели эксперимента. Практика уже показала широкие

возможности, которые предоставляют доступные на сегодняшний день системы для геномного редактирования в АПК.

Но все по порядку. Нобелевскую премию 2020 года по химии присудили за реализацию идеи, известной как «генетические ножницы», или CRISPR/Cas9. Метод CRISPR/Cas9 произвел революцию в молекулярных науках, открыл новые возможности для селекции растений, внес свой вклад в инновационные методы лечения рака и может воплотить мечту об излечении унаследованных болезней. Лауреатами стали французенка Эммануэль Шарпантье и американка Дженнифер Дудна. (Напомню, что сейчас уже существует и используется целая палитра «ножниц».)

В 2020 году Аргентинская биотехнологическая компания Bioceres получила разрешение национальных регуляторов на выращивание ГМ - пшеницы. Страна стала первая в мире.

Все началось в середине 1990-х годов, когда команда ученого Ракеля Чана идентифицировала ген (HB4), который позволил существенно повысить продуктивность и засухоустойчивость подсолнечника. В 2003 году Bioceres достигла соглашения с Conicet (правительственной комиссией по науке и технике) для коммерческого использования этой технологии. В 2007 году ген HB4 был перенесен в другие культуры, такие как соя, кукуруза и пшеница.

Ранее аргентинские регуляторы одобрили выращивание ГМ сои и кукурузы, они распространены и широко возделываются, а зерно используется в животноводстве в качестве корма. За десять лет исследований урожаи новой пшеницы были в среднем на 20-25% выше контрольных (обычных сортов). Она устойчива к засухам, которые участились и охватывают все большие площади вследствие глобального изменения климата.

Для понимания актуальности геномной селекции нужно так же вспомнить, что она появилась как результат секвенирования ДНК-геномов ряда сельскохозяйственных животных (в том числе свиней) в рамках международного проекта «Геном человека». Он был начат международной группой ученых в 1990 году и завершен только в 2022-м. Геном свиньи был расшифрован несколько ранее, чем геном человека, – в 2009 году.

Знание нуклеотидной последовательности ДНК-геномов свиней позволило разработать SNP-чип, содержащий 50–60 тысяч генетических маркеров генома конкретного животного, участвующего в селекционном процессе. Возможность уточнить геном животного в раннем возрасте на стадии селекционного отбора помогает принять более объективное решения о селекционной судьбе конкретного потомка от конкретной родительской пары.

Давайте обратимся к опыту нашего соседа – КНР, традиционно страна уделяет повышенное внимание получению достаточных объемов агропродукции и обеспечению продовольственной безопасности. Агентство Reuters в мае текущего года опубликовало информацию о том, что Китай впервые одобрил безопасность генно-модифицированной пшеницы, поскольку осторожно продвигается вперед к коммерческому выращиванию генетически модифицированных продовольственных культур.

Действительно в Китае выдали первый сертификат безопасности для отредактированной пшеницы. Редактирование генома пшеницы является результатом восьмилетней работы ученых Китайской академии наук и биотехнологической компании QiBiodesign из Сучжоу (провинция Цзянсу). Оно придает пшенице устойчивость к мучнистой росе – распространенной среди злаковых грибковой инфекции. Лицензия покрывает всю территорию Китая и действительна до мая 2029 года, после чего ее можно будет продлить. Это первое редактирование генома пшеницы, одобренное правительством Китая.

В прошлом году Китай увеличил количество разрешений на использование генетически модифицированных (ГМ) семян кукурузы и сои, которые отличаются высокой урожайностью и устойчивостью к насекомым и гербицидам, чтобы обеспечить свою

продовольственную безопасность, но их использование остается медленным и осторожным из-за опасений по поводу воздействия на здоровье потребителей и экологическую ситуацию.

В 2023 году сообщалось о том, что Минсельхоз Китая одобрил внутреннее производство еще шести сортов генетически модифицированной кукурузы, двух сортов сои и одного сорта хлопка, а также еще двух сортов генно-модифицированной сои. А в декабре этого года Китай выдал лицензии первой партии из 26 компаний на разведение и продажу ГМ-семян кукурузы и сои внутри страны после нескольких лет экспериментальных испытаний.

Известно, что Минсельхоз Китая выделил всего лишь около 270 тыс. га под посев ГМО-кукурузы в 2024 году. Семенные компании, работающие на этом рынке, справедливо рассчитывали увеличить доходы, пока он не находится в стадии «продавца», а спрос постоянно растет.

Какова цель? Китай стремится постоянно увеличивать валовые сборы для обеспечения продовольственной безопасности, хочет снизить зависимость от импорта сои, зерна и продукции животноводства. Агентство Bloomberg оценило в январе 2024 года, что поставки сои в страну выросли на 11% в прошлом году до 99,4 млн тонн, почти сравнявшись с историческим максимумом 2020 год. Поэтому любая прибавка урожая внутри страны может значительно сократить закупки на мировом рынке. А что это значит? Пока Китай, по данным FAS USDA, является главным экспортным рынком для США. В 2023 году объем экспорта сои из США в Китай составит \$15,2 млрд, а кукурузы – \$1,65 млрд.

Приведу еще один пример из Китая. За последние два десятилетия производство томатов увеличилось в два раза, что во многом является результатом генетического улучшения в сторону продуктивности и возможностей адаптации культуры, устойчивости к вредителям и болезням. Новый китайский сорт томата «Бэйвэймэй» был получен с помощью технологии геномной селекции после 10 лет исследований и разработок и, по мнению создателей, имеет хорошие перспективы не только на внутреннем, но и на зарубежном рынке.

Хуачжунский сельскохозяйственный университет («HZAU») сообщает в релизе, что 20 апреля прошла торжественная церемония презентации нового сорта томата «Бэйвэймэй», выведенного профессором Йе Чжибяо и его командой, во время семинара по развитию садоводческой отрасли и дегустация высококачественных томатов в Шоугуане, провинция Шаньдун.

Особенность этого сорта — его насыщенный вкус, сладость и аромат, а также возможность хранения в течение длительного времени без потери содержания сахара и устойчивость к стрессам и ряду болезней помидоров. Во время его создания исследовательская группа идентифицировала 3950 зародышевых плазм томатов, обновила более 10 025 зародышевых плазм, в том числе 68 элитных, и разработала 15 маркеров качества томатов. Также в селекционных базах томата была создана и использована передовая технологическая система молекулярных маркеров и геномной селекции качества томата, что значительно повышает эффективность селекции качества томата. «Близнецы» нового томата, полученные в процессе работы, включают 11 высококачественных крупноплодных сортов томатов. В настоящее время они высажены во многих провинциях Китая на общей площади около 21 млн гектаров.

Подписано соглашение о рыночном применении сорта «Бэйвэймэй», сумма заявки превышает 50 млн юаней. Яо Цзянлинь, вице-президент HZAU, заявил, что, выведенный сорт с помощью технологии геномной селекции, стал самым значимым проектом селекции томата за последние годы. Он сможет завоевать популярность в Китае и распространиться по всему миру.

В Канаде в мае 2023 году правительство решило, что сельскохозяйственным культурам с отредактированными генами для эффективного использования влаги, питательных веществ или для лучшей защиты от вредителей или засухи, теперь не придется преодолевать те же нормативные барьеры, что и любым культурам, модифицированным для

устойчивости к гербицидам или содержащим чужеродные гены. Было объявлено об обновленном руководстве Канадского агентства по надзору за продуктами питания (CFIA), которое устанавливает для семян с отредактированными генами тот же нормативный уровень, что и для сортов семян, выведенных традиционным способом.

С учетом уже сделанных ранее обновлений, внесенных федеральным департаментом здравоохранения в Канадские правила в отношении новых пищевых продуктов, решение CFIA открывает двери для нерегулируемого использования генетически отредактированных семян на канадских полях. Общественное мнение по данному вопросу разделилось. Группы традиционных агропроизводителей, годами ожидавшие прибытия в страну генетически отредактированных семян, горячо приветствовали решение CFIA как переломный момент для отечественной сельскохозяйственной отрасли.

Представители «органического» производства, покупатели которых считают, что редактирование генов то же самое, что и технология ГМО, говорят, что это решение поставит органический сектор в зависимость от готовности семенных и биотехнологических компаний раскрыть информацию о своей работе. Насколько полно они станут это делать, пока оценить сложно.

В своей обновленной директиве CFIA подчеркивает, что это научное мнение агентства о том, что технологии редактирования генов не представляют каких-либо уникальных или конкретно идентифицируемых проблем с безопасностью для окружающей среды или здоровья человека по сравнению с другими технологиями развития растений. CFIA поясняет, что «не предвидит результатов традиционной селекции, когда потребуется разрешение на выпуск в окружающую среду, кроме как в случае устойчивых к гербицидам растений».

Следовательно, компания, желающая выпустить растение с новыми признаками (PNT), все равно должна будет подать заявку и получить разрешение CFIA до того, как это растение будет выпущено в окружающую среду. То есть, если в PNT все еще есть какая-либо ДНК чужеродного организма и/или новый коммерчески жизнеспособный признак устойчивости к гербицидам.

Это также применимо к любому отредактированному геному PNT, где любая чужеродная ДНК остается в конечном продукте и не удаляется в ходе этапов размножения и отбора. По мнению CFIA, компании, поставляющие семена, должны в полной мере участвовать в механизмах, обеспечивающих прозрачность и соответствующим образом уведомлять регулирующий орган, если растение может оказать значительное негативное воздействие на окружающую среду и считаться PNT.

В своем пресс-релизе в среду канадское федеральное сельскохозяйственное ведомство отметило, что США, Япония, Австралия, Аргентина и Бразилия первыми «проложили путь» для продуктов с отредактированными генами, в то время как Новая Зеландия, Великобритания и ЕС находятся в процессе обсуждения вопроса.

Конкурентоспособность Канады на мировых продовольственных рынках и устойчивость ее сельскохозяйственных культур к агроэкологическим и погодноклиматическим стрессам были общими темами среди групп фермеров и общественности, приветствовавших такое решение CFIA.

Представители «органического» сектора полагают, что отредактированные гены сельскохозяйственных культур, которые не имеют чужеродной ДНК, и любые продукты, произведенные из этих культур, не будут проходить какой-либо процесс утверждения правительством, но могут быть выпущены на рынок компаниями без каких-либо данных о безопасности, представленных правительству. Учитывая, что органические стандарты допускают только культуры, выведенные традиционным способом, а не растения с отредактированными генами или генетически модифицированные растения, в результате на рынке появятся «неизвестные» «измененные» продукты и семена, которые не подвергались какой-либо независимой оценке биологической и экологической безопасности.

Люси Шаррат, координатор Канадской сети действий в области биотехнологии, назвала руководство CFIA отказом от ответственности со стороны регулирующих органов, которое просит канадских фермеров и потребителей доверять невидимой корпоративной науке.

В докладе ФАО «Редактирование генов и агропродовольственные системы» (Рим, Италия: ФАО, 2022) указано, что технологии редактирования генов представляют собой новый многообещающий инструмент для селекции растений и животных в странах с низким и средним уровнем дохода. Они повышают точность и эффективность по сравнению с нынешними методами селекции и могут привести к быстрому созданию улучшенных сортов растений и пород животных. Однако, как и у любой новой технологии, у нее есть свои достоинства и недостатки. Пока еще не существует международного консенсуса относительно того, следует ли и как регулировать генно-отредактированные организмы, и будет ли их выпуск подпадать под нормативную базу Картахенского протокола по биобезопасности к Конвенции о биологическом разнообразии.

В этом научно обоснованном тематическом докладе представлено сбалансированное обсуждение наиболее актуальных аспектов редактирования генов, включая последствия для снижения (или увеличения) числа голодающих людей, здоровья человека, безопасности пищевых продуктов, воздействия на окружающую среду, благополучие животных, социально-экономические аспекты и т.д. Делается попытка объективной и адекватной оценки возможных выгод и сопутствующих им рисков. В документе рассматриваются внутренние этические проблемы, вопросы управления и регулирования, а также обсуждаются роль государственного и частного секторов, возможности их партнерства. Также представлены различные сценарии того, как редактирование генов может быть использовано в будущем для трансформации и повышения устойчивости агропродовольственных систем.

Издание VerticalFarmDaily опубликовало информацию о новой программе стартапа Square Roots, поддерживаемой грантом Фонда Билла и Мелинды Гейтс. Разработчики планируют объединить технологии искусственного фотосинтеза и собственный опыт вертикального фермерства для создания экономичной теплицы, где растения будут расти в полной темноте, говорится в сообщении, с которым ознакомилась sfera.fm.

Речь идет о растениях с отредактированным геномом, которые растут гетеротрофно. Эти растения не нуждаются в фотосинтезе для того, чтобы набирать биомассу — рост происходит за счет извлечения углерода из ацетата (вещества, добавляемого в поливную воду). За основу этой технологии взята разработка доктора Роберта Джинкерсона, специалиста по искусственному фотосинтезу из Калифорнийского университета (UC) в Риверсайде и доктора Фэн Цзяо, химика из Университета Делавэра.

Для начала разработчики опробуют технологию на томатах и салате-латуке, говорится в сообщении. В перспективах также попробуют выращивать без света сладкий картофель и маниоку. Разработчики отмечают, что такая разработка может полностью изменить экономику в основе вертикального земледелия по всему миру, особенно в странах с низким и средним уровнем дохода. Сейчас расходы на энергию для освещения теплиц — одна из крупнейших статей расходов для любой сити-фермы, на это уходит до 40% всех затрат на содержание теплицы.

Несомненно, что современные геномные технологии позволят ускорить селекционный процесс, что в свою очередь в совокупности с развитым семеноводством, обеспечит устойчивое развитие земледелия и растениеводства в условиях изменяющихся характеристик окружающей среды и климата. Научные исследования в этом направлении продолжают активно финансироваться, как государственными структурами, так и частными фондами.

Профессор Д.М. ХОМЯКОВ, Аграрный центр МГУ