

КАК ПОМОЧЬ НАКОРМИТЬ ЧЕЛОВЕЧЕСТВО

В.А. Драгавцев

Агрофизический институт Россельхозакадемии, Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: dravial@mail.ru

Статья поступила в редакцию 22.07.2013; принята к печати 09.09.2013

В период 1984–2012 гг. была создана и развита теория эколого-генетической организации количественного признака и исследованы 24 следствия из нее, обнаружившие существенные упущения в традиционных системах селекции растений на продуктивность и урожай. Главный вывод теории: при смене фактора среды, лимитирующего рост растения (лим-фактора), меняется спектр и число генов, детерминирующих один и тот же количественный признак. Именно этот механизм порождает феномен взаимодействия «генотип-среда», выражающийся в смене рангов продуктивности у набора сортов, растущих попеременно в двух или более чем двух средах. Стало ясно, что для научного управления продуктивностью и урожаем необходимо одновременно контролировать пространственное разнообразие и временную динамику лим-факторов среды и разнообразие откликов генетико-физиологических систем растений на смену лим-факторов в онтогенезе. Это можно сделать только в специально сконструированном селекционном фитотроне, технологии селекции в котором имеют очень значимые преимущества и высокую эффективность, обсуждаемые в статье.

Ключевые слова: эколого-генетическая природа признаков продуктивности, взаимодействие «генотип-среда», взаимоотношения генетики и селекции, преимущества селекции в фитотроне.

HOW TO AID IN SATING THE HUMANITY

V.A. Dragavtsev

Agrophysical Institute of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Saint Petersburg, Russia

E-mail: dravial@mail.ru

In 1984–2012, a theory of the eco-genetic organization of quantitative traits has been being developed and its 24 prediction have been verified. As a result, significant gaps were revealed in the traditional approaches to crop selection for yields and productivity. The main prediction of the theory is: when an environmental factor, which limits plant growth ("lim-factor"), changes for another lim-factor, the spectrum and number of the genes that determine a defined quantitative trait will change. This is what underlies the phenomenon of interaction between genotype and its environment, which is manifested as changes in the ranks of productivity within a series of cultivars grown alternately under two or more different sets of conditions. It became clear that for a science-based management of crop yields and productivity, one has to control simultaneously the spatial variability and the temporal dynamics of environmental lim-factors and the variability of responses of the genetic-physiological systems of plants to the successive changes of lim-factors during ontogenesis. This is feasible in a dedicated breeding phytotron. The advantages of phytotronic plant breeding technologies are discussed.

Keywords: eco-genetic organization of crop productivity traits, genotypes-environment interactions, relationships between genetics and breeding, advantages of phytotronic plant breeding.

Торговля может сделать человека богатым, но свободным – только сельское хозяйство.

Жан-Жак Руссо

ВВЕДЕНИЕ

В наши дни в течение суток на Земле рождаются 250000 младенцев. К 2028 г. население Земли достигнет 8 млрд человек. Если аграрии всех стран не смогут за оставшееся время увеличить объем растениеводческой продукции в мире в 2 раза, то над 2,5 млрд человек нависнет угроза голодной смерти. Сегодня число голодающих на Земле – 1,5 млрд человек [14].

Нозлин Хэйзер (Noelin Hazer) – зам. Генерального секретаря ООН, исполнительный секретарь Экономической и социальной комиссии для Азии и Тихого океана (ЭСКАТО) – подчеркнул, что только за 2011 г. число голодающих в странах АТЭС выросло на 40 млн человек¹, а президент Российской Федерации В.В. Путин в своем докладе на саммите АТЭС (2012) отметил, что в 2012 г. в странах АТЭС общее число голодающих достигло 200 млн человек. По-

этому очень актуален призыв саммита АТЭС-2012: «В долгосрочном плане все страны должны сфокусировать свое внимание на НИОКР в сельском хозяйстве, в целях содействия новой наукоемкой „зеленой“ революции»². Министр сельского хозяйства Российской Федерации Н.В. Федоров в недавнем интервью телеканалу «Россия-24» подчеркнул: «В первую очередь России нужны новые засухоустойчивые и холодоустойчивые сорта сельскохозяйственных растений». Это абсолютно верная стратегическая задача, поскольку большинство лимитирующих факторов среды (лим-факторов), «срезающих» урожаи на территории России, следующие: морозы, холода, заморозки, засухи, засоление почв, кислые почвы, явления вымокания, выпревания и др. Негативное воздействие этих стрессоров на урожай либо вообще невозможно снять агротехнологиями, либо в принципе возможно (например, известкование кислых почв), однако это очень дорого. А.А. Жученко [14, с. 191] подчеркивает: «Чем хуже почвенно-климатические условия региона, тем выше роль биологизации и экологизации растениеводства, то есть сорта».

¹ Газета «Казахстанская правда» от 24 июня 2011 г.

² Старую совершил лауреат Нобелевской премии мира американский селекционер, работавший в Мексике, Норман Борлауг (Norman Borlaug) благодаря созданию короткостебельных неполегающих на высоком агрофоне принципиально новых сортов пшеницы.

Сейчас в развитых странах системы агротехники доведены почти до возможного «потолка». Например, в Англии дальнейшее повышение урожая озимой пшеницы на 95% зависит от генетико-селекционных технологий и только на 5% – от улучшений агротехники, в США прирост урожая кукурузы на 93% определяется генетическими вкладами эффектов гетерозиса, а урожая сои – на 94% взаимодействиями новых генных комбинаций с лимитирующими факторами среды конкретной зоны селекции. В России повышение урожая зерновых на 70% зависит от генетико-селекционных технологий и на 30% – от дальнейшего совершенствования агротехнологий [14]. При этом надо помнить, что генетико-селекционные технологии на три порядка дешевле любых, даже самых минимальных агротехнологий (выведенный селекционером сорт «работает» на полях 7–10 лет и более, не требуя дополнительных затрат, а комплекс дорогих агротехнологий надо применять ежегодно).

К сожалению, сегодня селекционерам все труднее создавать новые высокопродуктивные сорта растений. Возраст «народной селекции» (примитивного отбора по фенотипу, который используется и сейчас) насчитывает 10–12 тысяч лет. В 2005 г. научная общественность отмечала 2500-летие организованной селекции растений в России (возникновение первых коллективов селекционеров). Если 100 лет тому назад отбор по любым признакам продуктивности генетически увеличивал их, то в наше время многие признаки перестали реагировать на отбор. Это понятно: если мы соберем семена дикой пшеницы в ущельях Азербайджана и поседем их на культурном поле, то урожай не превысит 5 ц/га, а культурные пшеницы на том же поле могут дать более 100 ц/га. Это – итог тысячелетней работы по генетико-селекционному улучшению пшениц. Поэтому дальнейшее повышение урожая сегодня дается селекционерам с большим трудом – подобно тому, как трудно сейчас улучшить мировой рекорд в беге на 100 м. В наши дни многие селекционеры повышают урожай, отбирая сорта, толерантные к загущению, то есть те, которые способны держать не 150 колосьев на квадратном метре (как сорт Безостая 1 академика П.П. Лукьяненко), а гораздо больше: Спартанка – 600, Скифянка – 800, Крошка – более 1000 колосьев. Толерантность к загущению – это один из очень немногих признаков, селекционное улучшение которого сегодня повышает урожай новых сортов, однако это признак не индивидуальный, а групповой, а генетика групповых признаков плохо поддается изучению методами менделевской, биометрической и молекулярной ветвей генетики.

Для того чтобы дать в руки селекционеру новые рычаги повышения продуктивности и урожая создаваемых сортов, необходимо выяснить механизмы эколого-генетического «устройства» признаков продуктивности, которые не наследуются (подобно простым менделевским признакам), а развиваются в онтогенезе, как оказалось, в результате «работы» единой системы: лимитирующих факторов среды, меняющихся внутри и между фазами онтогенеза (и даже по часам в течение дня) и лабильных спектров и чисел генов, «блуждающих» соответственно смене лим-факторов среды.

ПРОБЛЕМА ВЗАИМООТНОШЕНИЙ СОВРЕМЕННОЙ ГЕНЕТИКИ И СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ

Проблему взаимоотношений генетики и селекции отметил Н.И. Вавилов еще в 1935 г.: «Между искусством селекции и генетикой лежит очень глубокая пропасть, и нужно сделать многое, чтобы перекинуть через нее мост» [2]. Оказалось, что таких пропастей много, и они до сих пор существенно мешают созданию высоких генетико-селекционных технологий.

Ветви генетики (классическая, биометрическая и молекулярная), претендующие на то, чтобы снабдить селекцию теоретическими основами, до недавнего времени мало способствовали решению задач, без которых невозможно построить количественную теорию селекции растений для генетического улучшения сложных экономически важных количественных признаков, например, продуктивности и урожая. Оставалось неразработанным или невыясненным следующее:

1) теории и методы экспрессной идентификации генотипа особи по ее фенотипу при селекционных отборах во втором (расщепляющемся после гибридизации) поколении (F_2) и диких популяциях по количественным признакам;

2) полный перечень генетико-физиологических систем, с помощью которых селекционеры, де-факто, генетически улучшают виды сельскохозяйственных растений;

3) механизмы трансгрессий, методы прогнозирования трансгрессий, строгая теория подбора оптимальных родительских пар для скрещивания и достоверного получения трансгрессий;

4) механизмы экологически зависимого гетерозиса и методы его прогнозирования (вся гетерозисная селекция во всем мире до сих пор ведется методом проб и ошибок, то есть методом «тыка»);

5) природа и механизмы полигенного наследования и механизмы реакции сложных признаков продуктивности на лим-факторы внешней среды;

6) эколого-генетические механизмы формирования генотипических, генетических (аддитивных) и экологических корреляций и механизмов их сдвигов в разных средах и методы прогноза знаков и величин этих корреляций при смене лим-факторов внешней среды;

7) природа доминирования полигенных признаков и подходы к прогнозированию сдвигов доминирования в разных средах;

8) механизмы формирования генетических параметров популяций, в частности, параметров и графов диаллельного анализа по Хейману; прогнозы по таким параметрам без экспериментального проведения сложных и трудоемких диаллельных скрещиваний;

9) природа эффектов взаимодействия «генотип-среда» и способы предсказания этих эффектов и их сдвигов в разных средах;

10) механизмы изменения числа генов, детерминирующих генетическую изменчивость признаков продуктивности в разных средах и методы предсказания сдвигов чисел генов при переходах от среды к среде;

11) механизмы генетического гомеостаза урожая в разных средах, теория селекции растений на гомеостаз урожая;

12) механизмы изменения амплитуды генетической изменчивости признаков продуктивности в разных средах и методы предсказания изменений этой амплитуды;

13) механизмы ухудшения сортов в процессе «улучшающих» отборов в семеноводстве и хорошая эколого-генетическая теория улучшающего семеноводства;

14) методы научной типизации лет для конкретной зоны селекции, для конкретного вида с/х растений по оценке динамики лим-факторов по фазам онтогенеза в типичном для данной зоны селекции году.

Таким образом, оказалось, что в 70–80-е гг. прошлого века наиболее существенных «пропастей» между современной генетикой и практической селекцией обнаружено 14.

Как «засыпать» эти «пропасти»?

С 1973 по 1983 г. в СССР выполнялась Межведомственная кооперативная программа ДИАС (диаллельные скрещивания) – изучение генетики признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири – инициированная академиком Д.К. Беляевым (директор Института цитологии и генетики СО АН СССР, куратор программы) при активной поддержке со стороны председателя СО АН академика М.А. Лаврентьева и, позднее, сменившего его на этом посту академика Г.И. Марчука (впоследствии председатель ГКНТ и затем президент АН СССР).

Организовали скрещивания (каждый с каждым) 15 сортов яровой пшеницы (15×15), а экологические испытания родителей и гибридов F_1 и F_2 с замерами 19 количественных признаков на каждом растении провели в 9 географических точках – с запада на восток от Урала (Красноуфимск) до Забайкалья (Иволгинск) и с севера на юг от Тюмени до Усть-Каменогорска. При этом в течение 2 лет регистрировали в каждой точке динамику основных лим-факторов среды (метеохарактеристик). В программе участвовали 9 селекционных центров ВАСХНИЛ и 2 института СО АН, число специалистов – более 100 человек. Всего получили около 5 млн замеров количественных признаков. Данные обработали по специально созданным программам диаллельного анализа на ЭВМ Вычислительного центра СО АН (куратор вычислений акад. Г.И. Марчук). В 1984 г. была выпущена коллективная монография [7].

По Программе ДИАС были созданы 8 новых сортов яровой пшеницы [9], районированных в Западной Сибири, Казахстане, Хакасии, Монголии: Алтайская 81 (районирована с 1987 г.), ДИАС 2 (с 1988 г.), Казахстанская 17 (с 1989 г.) Казахстанская раннеспелая (с 1991 г.), Лютесценс 70 (с 1993 г.), Кантегирская 89 (с 1993 г.), Алтайская 92 (с 1995 г.), Багамская 93 (с 1999 г.). Пять из них используются в производстве по сей день.

Не менее важный, чем 8 новых сортов, результат программы ДИАС – это создание новой теории эколого-генетической организации количественных признаков (ТЭГОКП), основанной на анализе огромного эмпирического материала [6, 7, 10, 13]. Следствия этой теории позволили в принципе «засыпать» все 14 «пропастей» между генетикой и селекцией, то есть были расшифрованы механизмы непонятных ранее феноменов и созданы методы их прогнозирования.

С 1984 по 2012 г. эта теория развивалась в руководимых В.А. Драгавцевым лабораториях в ИЦиГ СО АН, Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко, ВИРе им. Н.И. Вавилова и отделе экологической физиологии растений Агрофизического института. За этот период были обнаружены и исследованы теоретически и экспериментально 24 следствия из этой теории [13].

В 2008 г. ТЭГОКП получила подтверждение на молекулярном уровне [31, 35] в совместном исследовании с генетиками Германии, и позднее – в очень широких экспериментах в России [27, 32].

Из ТЭГОКП получены следующие наиболее важные приоритетные следствия.

1. При смене лимитирующего рост растений фактора внешней среды меняются спектр и число генов, детерминирующих один и тот же количественный признак. Экспериментально доказано, что такие количественные признаки, как «интенсивность транспирации» и «интенсивность фотосинтеза», в течение суток детерминируются, соответственно, поочередно двумя и тремя генетическими системами [11, 36].

2. Если сорта имеют близкие по величине признаки продуктивности на фоне без экологических лимитов, то на фоне, например, засухи все признаки продуктивности этих сортов детерминируются полигенами засухоустойчивости и «пишут» на себе различия вкладов этих полигенов в признаки продуктивности. На фоне холода эти же признаки детерминируются полигенами холодостойкости.

3. Для количественных признаков, подверженных феномену взаимодействия «генотип-среда», невозможно получить стабильную, «паспортную», генетическую характеристику для всех сред.

4. На фоне разных лим-факторов среды генетические детерминации признака (спектр и число генов) будут разными, донорские качества сортов изменятся, поэтому разными должны быть и селекционные технологии, начиная с подбора родительских пар для гибридизации.

ТЭГОКП раскрыла причины того, почему «превращение дикорастущих видов растений в сельскохозяйственные произошло без всякого применения достижений современной генетики и каких-либо представлений менделевской генетики. Современные селекционеры растений с успехом применяют в основном эту же стратегию» [22, с. 270]. Стало понятным, почему «никакой существенной корреляции между конечной урожайностью и эффективностью какого-либо определенного биохимического пути – не обнаружено» [22, с. 275].

Системы, с которыми работают генетики и селекционеры растений

Традиционные алгоритмы Г. Менделя и традиционные подходы современной молекулярной генетики, к сожалению, не соответствуют набору уровней организации генетических и эколого-генетических систем и процессов, с которыми реально работает селекционер, повышающий урожай создаваемого сорта.

Рассмотрим эти системы в совокупности от самой элементарной до самой сложной [17]:

- 1) олигогены с аддитивным действием;
- 2) олигогены с внутрилокусными взаимодействиями (доминирование, сверхдоминирование);
- 3) олигогены с межлокусными взаимодействиями (парные эпистазы разных типов);
- 4) полигены с аддитивным действием;
- 5) полигены с доминированием и парным эпистазом;
- 6) мультилокусный эпистаз;
- 7) дифференциальная активность олигогенов и полигенов в онтогенезе;
- 8) взаимодействие «генотип-среда» (ВГС).

Селекционеры, повышающие продуктивность и урожай, как правило, работают со всеми 8 системами. Классические генетики обычно имеют дело с двумя первыми уровнями.

Классический менделизм достаточно хорошо работает на 1-м уровне. Эксперименты Г. Менделя были выполнены именно с олигогенами 1-го уровня. Однако описанный Н.В. Тимофеевым-Ресовским в 1934 г. [29] феномен пенетрантности показал, что и на этом уровне классический менделизм не всегда работает столь идеально, как это обычно излагается в учебниках генетики, то есть путь даже от олигогена к признаку часто зависит от внешних условий.

КАКИЕ ИЗ ПЕРЕЧИСЛЕННЫХ СИСТЕМ ЯВЛЯЮТСЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЗАВИСИМЫМИ?

Серьезные вопросы вызывает уже 2-й уровень.

Вопрос 1: о природе доминирования. В 1925 г. Н.В. Тимофеев-Ресовский подчеркнул [28, с. 131]: «Доминантность или рецессивность не является специфическим свойством самого гена, а зависит от того, на какую генотипическую почву попадает этот ген». В 1994 г. В.Г. Митрофанов в книге «Доминантность и рецессивность» [20] выразил эту мысль так: «Все известные типы взаимодействий осуществляются через признаки, которые контролируются генами» (следовало бы добавить: ...генами, детерминирующими признак в единой системе с конкретными меняющимися лим-факторами среды. – В.Д.). И далее: «Иными словами, доминантность это свойство признака, а не гена» [20, с. 3]. В коллективной монографии [7] описано огромное количество фактов смены доминирования практически у всех экономически важных свойств яровой пшеницы в разных географических точках. Сдвиги доминирования (намного превышающие по величине таковые по географическим точкам в один год) были найдены и в каждой точке по годам выращивания растений в блоках диаллельных скрещиваний.

Эти факты противоречат общей традиции до сих пор называть гены (аллели) доминантными и рецессивными в генетических публикациях и в каталогах генов, от которых могут зависеть такие свойства растений, как способность к яровизации, карликовость, устойчивость к ржавчинным грибкам и т. п.

Вопрос 2: о природе сверхдоминирования. Дж. Финчем в 1968 г. в своей известной книге «Генетическая комплементация» [30] постулировал следующий механизм моногибридного (моногонного) гетерозиса. Если некий фермент является тетрамером, а аллели гетерозиготного локуса кодируют две полипептидные цепочки, А и а, то при случайной сборке молекул этого фермента в клетке будут образовываться структуры АААА, АААа, ААаа, Аааа и аааа,

то есть 5 типов молекул, так называемые изоферменты (изозимы). Если все 5 изозимов имеют разные температурные оптимумы каталитической активности (например, 10, 13, 16, 19 и 22 °С), то в течение суток при колебании температур от 10 до 22 °С растение, имеющее 5 изозимов, вклад каждого из которых в суммарную скорость реакции меняется в зависимости от температуры, будет расти относительно быстро в течение всего дня. Родители с гомозиготными локусами проявят максимальный рост только при постоянных температурах в течение суток: один при 10 °С, другой – при 22 °С. При отклонениях температуры от 10 и 22 °С они замедлят рост. За несколько суток у гибрида накопится существенный гетерозисный эффект по приросту. Напомним, что этот гибрид имеет только один гетерозиготный локус.

Таким образом, моногенный гетерозис в данном случае является результатом того, что наличие нескольких изозимов с разными температурными оптимумами создает возможность для оптимизации суммарного выхода продукта всего процесса, контролируемого этими изозимами, в каждом из разных режимов температурных изменений. Это – результат совместного действия изменчивости внешних условий и определенного набора изозимов, то есть это – проявление ВГС.

Итак, 2-й уровень генетических процессов – олигогены с внутрилокусными взаимодействиями – не может быть строго описан только генетически на языке правил Г. Менделя, без тщательного изучения лим-факторов среды во времени и по фазам онтогенеза. Этот уровень в сильной степени экологически зависим.

Следующие уровни – от 3 до 8 – также в сильной степени экологически зависимы.

3-й уровень – парные эпистазы разных типов – обнаруживают сдвиги по географическим точкам и по годам выращивания блоков в каждой точке [7].

4-й уровень – полигены с аддитивным действием – включает кроме аддитивных вкладов все эпистазы гомозиготных локусов. Известно, что они входят в ковариансу родитель-потомок [38], по которой оценивается аддитивная дисперсия признака в алгоритмах количественной генетики.

5-й уровень – полигены с доминированием и парным эпистазом – в экспериментах программы ДИАС показал очень сильную зависимость от смены лим-факторов среды [7].

6-й уровень – мультилокусный эпистаз [30] – сегодня не может быть строго идентифицирован современными алгоритмами генетического и молекулярно-генетического анализов, однако по косвенным данным (частые превращения на графах Хеймана в разных средах комплементарного эпистаза в дубликатный, и наоборот) можно с большой вероятностью предположить, что мультилокусный эпистаз также очень зависит от смены лим-факторов внешней среды.

7-й уровень – эффекты, относимые к этому уровню, в сильной степени индуцируются внешними лим-факторами: это, например, индукция белков теплового и холодового шоков, действие Са(2+)-кальмодулина, сайленсеров, энхансеров, эпигенетические переключения [17].

8-й уровень – ВГС. Механизмы ВГС, как показала ТЭГОКП, – это смена спектров и чисел генов, детерми-

нирующих сложный признак растения при смене лим-фактора внешней среды. Это и есть то самое «единство организма и среды», о котором говорилось в философско-биологических публикациях, но оно до сих пор не вошло в практически работающие алгоритмы.

Можно видеть, что из 8 уровней организации эколого-генетических систем, с которыми работает селекционер, генетически улучшающий сложные хозяйственно важные свойства растений, лишь 1-й, самый нижний, уровень может быть более или менее строго описан с позиций традиционного менделизма. Остальные 7 уровней могут быть поняты и строго описаны с позиций ТЭГОКП, в частности, касающихся механизма взаимодействия «генотип-среда» (12-е следствие ТЭГОКП).

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СЛЕДСТВИЯ ИЗ ТЭГОКП

Полное и компактное изложение ТЭГОКП и ее 24 исследованных следствий представлены в работе [13]. Оказалось, что ни с позиций традиционной генетики Г. Менделя и производных от нее общеизвестных моделей Б. Хэймана (B. Hayman), Б. Гриффинга (B. Griffing), К. Мазера (K. Mather), С. Райта (S. Wright) и др., ни с позиций современной молекулярной генетики не удастся ни строго описать эколого-генетическую организацию любого сложного экономически значимого свойства растений, развивающегося на фоне меняющихся лим-факторов внешней среды и «блуждающих» спектров генов, детерминирующих это свойство во времени (по фазам онтогенеза и меняющимся лим-факторам), ни дать прогнозы генетических параметров популяции, эффектов трансгрессий, эффектов гетерозиса, сдвигов знаков и величин генотипических корреляций и т. д. Сделать это можно с позиций ТЭГОКП.

Известный молекулярный генетик Гюнтер Стент (G. Stent) еще в 1974 г. предупреждал: «Поиски „молекулярного“ объяснения сознания являются напрасной тратой времени, поскольку физиологические процессы, ответственные за это ощущение, задолго до того, как будет достигнут молекулярный уровень, распадутся до ординарных рабочих реакций, не более или менее удивительных, чем процессы, происходящие, например, в печени» [26, с. 524]. Тем самым Г. Стент дал прекрасную иллюстрацию известному тезису А. Сент-Дьерди: «Одним из основных принципов жизни является „организация“; мы понимаем под этим, что при объединении двух вещей рождается нечто новое, качества которого не аддитивны и не могут быть выражены через качества составляющих его компонент» [23, с. 41]. Работы Сент-Дьерди подчеркнули важность изучения неаддитивных эффектов взаимодействия компонент сложной системы, так называемых **эмерджентных** (заново возникающих) **свойств**. Именно существование таких свойств обусловило необходимость разделить биологию на множество уровней организации. На каждом более высоком уровне возникают новые эмерджентные свойства, **которых не было вообще** на более низком уровне организации. Так популяционная генетика изучает эмерджентное свойство популяции: частоту конкретного аллеля в данной популяции. Этого свойства **нет вообще** на уровне классической менделевской генетики при проведении парных скрещиваний.

Подобно тому, как невозможно изучать сознание на молекулярном уровне, невозможно изучать на том же

уровне и взаимодействие «генотип-среда» (ВГС), то есть смену рангов продуктивности сортов в разных средах. ВГС на молекулярном уровне бесследно исчезает (подобно сознанию), являясь эмерджентным свойством, возникающим при взаимодействии продуктов генов с лабильными в течение суток, недель, месяцев лимитирующими факторами среды, и только на высоких уровнях организации жизни: организменном, популяционном, фитоценотическом.

Сегодня многие государства выделяют огромные средства на геномику и протеомику, но ни в одном НИИ России (да и мира) пока еще нет ни одной лаборатории, ведущей тему: «Расшифровка механизмов ВГС и разработка методов прогноза эффектов ВГС для создания новых продуктивных и урожайных сортов растений». И это в ситуации, когда известно, что самый мощный вклад в повышение продуктивности и урожая могут дать только эффекты ВГС. Если сорт озимой пшеницы акад. П.П. Лукьяненко – Безостую 1 – вырастить под Москвой, то он даст 10–15 ц/га. На Кубани он дает 90–110 ц/га (прибавка почти 1000 %). Традиционные генетические механизмы аналитической и синтетической селекции (каждый в отдельности) могут поднять урожай лишь на 5–10 %.

Проблема еще в том, что генетики за 147 лет существования своей науки так и не обнаружили специфических генов продуктивности, величины урожая, гомеостаза урожая (пластичности сорта), горизонтального иммунитета, видового иммунитета, экологически зависимого гетерозиса, засухо-, холодо-, зимо-, жаростойкости и т. п., эффект каждого из которых сохранял бы направленность в любых условиях. Поэтому классическая генетика и производная от нее – молекулярная – способны помочь генетическому повышению продуктивности и урожая лишь в редких случаях, когда «большой» ген в определенной среде «выходит» на продуктивность и урожай. Научной основой генетического повышения продуктивности и урожая может быть понимание механизмов ВГС с позиций экологической генетики количественных признаков [4, 14].

Можно видеть, что давняя традиция генетики – изучать наследование признаков – сегодня вряд ли является бесспорной при решении селекционных задач. В принципе, на растении можно замерить десятки и сотни тысяч признаков, то есть число измеренных признаков может существенно превышать число генов в геноме данного вида. Изучив менделевскую генетику каждого из этих признаков, мы получим огромный «ворох» экспериментальной генетической информации, который вряд ли будет полезен селекционеру.

Для селекции много важнее создание экспрессных методов точной идентификации семи главных физиолого-генетических систем, способных генетически повысить урожай в конкретной среде, – аттракции (перемещения продуктов фотосинтеза из стебля и листьев в колос) микрораспределения продуктов фотосинтеза (между зернами и мякиной в колосе) адаптивности, горизонтальной устойчивости (полигенного иммунитета) «оплаты» лим-факторов почвенного питания сухой биомассой, толерантности к загущению и генетической вариабельности длин фаз онтогенеза, позволяющей селекционеру «уводить» критическую фазу онтогенеза от «удара» лим-фактора [17].

Традиционная генетическая характеристика хозяйственно важного признака, полученная при больших затратах труда и времени методами генетического анализа по Менделю или Хэйману, с высокой вероятностью может измениться в следующем году или в новой экологической нише.

Эту ситуацию, ставшую ясной для нас в период 1984–2012 гг., чувствовал и предвидел Н.И. Вавилов еще в 1935 г. Он писал: «Мы не будем удивлены, если основательное изучение наследственности количественных признаков приведет к коренной ревизии упрощенных менделистических представлений» (Н.И. Вавилов [2, т. 5, с. 275]).

С позиций ТЭГОКП для резкого повышения эффективности селекции по хозяйственно важным признакам необходимо создать специальный селекционный фитотрон, позволяющий в любую фазу онтогенеза родителей и гибридов «выводить» с помощью «удара» нужным лим-фактором среды всех 8 эколого-генетических систем на признак, закладываемый в эту фазу, и оценивать характер «противостояния» данной фазы (по уровню признака) лим-фактору-стрессору. Кроме того, в фитотроне можно программировать динамику лим-факторов среды типичного года для любой зоны селекции на Земле, что позволит целенаправленно создавать максимальные урожайные сорта для любых зон Земного шара.

Удивительно, но факт: когда речь идет о поисках путей ликвидации дефицита энергии, никаких средств оказывается не жалко на строительство огромных ускорителей, синхротронов, синхрофазотронов и т. п., но когда оказывается, что аналогичные затраты требуются на поиски путей ликвидации дефицита пищевых продуктов, вопросы о выделении соответствующих средств повисают в воздухе. Понятно, что ядерная физика – это еще и решение вопросов военной безопасности. Но не менее важна безопасность продовольственная. Возможно, дело в том, что средства на решение физических задач выделяются под ту или иную физическую теорию. Если так, то ТЭГОКП как раз и может быть той теорией, под которую следует создавать селекционный фитотрон.

ПРЕИМУЩЕСТВА ФИТОТРОННОЙ СЕЛЕКЦИИ

В фитотроне можно в сотни раз повысить эффективность идентификации (узнавания) единичных наиболее ценных генотипов в расщепляющихся популяциях [16].

Общепринятая во всем мире система организации селекции растений для генетического улучшения сложных хозяйственно ценных признаков размещает селекционные центры по зонам селекции – регионам, в которых экологические условия (как предполагается) в среднем достаточно однородны, так что новый сорт способен на территории данной зоны в среднем обогнать по продуктивности и урожаю прежний (стандартный) сорт. Однако программа ДИАС показала, что сдвиги генетических параметров популяции ДИАС намного выше в каждой географической точке от года к году, чем их различия между разными точками в один год. Это значит, что если год отборов в F_2 не был типичным годом для данной зоны селекции, то вся работа селекционера по подбору пар для скрещивания, трудоемким объемным скрещиваниям и выращиванию F_1 (первого гибридного поколения) фактически пропадает.

Традиционная структура системы размещения селекционных центров по зонам растениеводства возникла потому, что генетика не могла объяснить селекционерам механизм ВГС – важнейшего феномена повышения урожая в любой конкретной зоне селекции. Отсутствие фундаментальных знаний о природе ВГС и отсутствие методов его прогнозирования и управления им привели к ситуации, когда даже очень опытные и заслуженные селекционеры, пытаясь максимизировать вклад эффекта ВГС в повышение урожая, используют сегодня ту же технологию визуального отбора по фенотипическому уровню признака, которую применяла 10 тысяч лет тому назад первобытная женщина, выйдя из пещеры и отбирая колосья на прилегающем поле проса или пшеницы. Технология повышения вклада ВГС в продуктивность и урожай не подверглась какой-либо модернизации со стороны генетики, экологии, физиологии и других наук за последние 147 лет (это возраст современной генетики).

Уйдя в глубины молекулярной биологии, эти науки отошли от изучения природы ВГС, трансгрессий, генотипических и других корреляций, то есть от работы над задачами, решения которых насущно востребованы человечеством. Как тут ни процитировать известного сельскохозяйственного генетика Дж. Л. Брюейкера: «Более половины населения нашей плодородной Земли имеет слишком мало пищи, и даже очень глубокое знание гена дает небольшое утешение голодным людям, пока оно не выражается в калориях» [1].

С позиций ТЭГОКП четко видны существенные недостатки традиционной структуры современных систем селекции растений.

1. Год отборов из популяции F_2 (или M_2) для каждого селекционера может быть либо типичным (по динамике лим-факторов среды) для данной зоны селекции, либо нетипичным. В нетипичный год лучшие фенотипы сформируются теми генотипами, которые в типичный год «сядут». Отобрав лучшие фенотипы в нетипичный год и забрав растения, оставшиеся на делянках F_2 , селекционер потеряет все лучшие генотипы, способные дать наибольший урожай в типичный год. Вся работа по подбору пар для скрещивания, самого трудоемкого скрещивания (тысячи комбинаций), выращивания F_1 и F_2 – пропадает зря.

Так, например, в экспериментах программы ДИАС при изучении продуктивности (массы зерен с растения) 15 родительских сортов в Новосибирске в 1974 г. первое место по продуктивности занял индийский сорт Кальян Сона, а 14-е место – сорт Грекум 114. В 1975 г. Грекум 114 занял 1-е место, а Кальян Сона – 14-е. Это говорит о том, что, даже если бы в F_2 отбираемый продуктивный генотип был представлен не единичным растением, а двухметровой делянкой, на которой средняя генотипическая величина продуктивности «очищена» от всех шумов, селекционер все равно сделал бы грубую ошибку, отобрав делянку самого продуктивного генотипа в нетипичный год. В истории селекции известны факты, когда, например, директор НИИСХ им. акад. В.Я. Юрьева (Харьков) получил выговор от обкома партии за то, что один сорт твердой пшеницы, созданный в Харькове, был районирован на Алтае, а другой – на севере Франции.

Несовпадение года отборов с типичным годом для данной зоны селекции снижает эффективность селекционного процесса в 3–4 раза, так как в нетипич-

ный год максимальную продуктивность покажут другие генотипы (на признак «выйдут» продукты других генов), а не те, которые в типичный год дадут максимальный эффект ВГС по продуктивности.

Типичные годы, которые обычно бывают от 4 до 6 в каждом десятилетии, позволяют селекционеру использовать в среднем только 5 летних сезонов из 10. Зима не используется, но это – сезон, то есть селекционер работает только 5 сезонов из 20. Если отборы из поля перенести в фитотрон, где буквально поворотом рукояток можно создать типичный год для любой точки Земли и любой зоны селекции, и применить наш принцип фоновых признаков для идентификации генотипов при отборе (повышающий надежность «узнавания» генотипов единичных растений до 1000 раз), а сам селекционный процесс ускорить в 4 раза созданием типичных динамик лим-факторов среды по фазам онтогенеза для конкретной зоны селекции, то можно в несколько раз повысить итоговую эффективность селекции.

2. А.С. Серебровский [24, с. 213] подчеркивал: «Для генетика-аналитика основной интерес представляют особенности генотипического каркаса популяции, и все его усилия должны быть направлены на то, чтобы обнажить этот каркас от одевающего его паратипического покрова». При отборе в поле «генотипический каркас» популяции F_2 закрыт не только «паратипическим покровом», то есть экологическим шумом (ЭШ), который обычно составляет 70–80% от фенотипической изменчивости (генотипическая изменчивость обычно составляет около 10–30%). На делянках F_2 присутствуют еще генотипический конкурентный шум (ГКШ) и экологический конкурентный шум (ЭКШ). Их величины превышают в 4–10 раз генотипическую изменчивость, которую необходимо «увидеть» селекционеру при отборе.

Оценки разрешающей способности визуальных отборов в поле проведены П.П. Литун [18]. В среднем – это 0,01%, то есть селекционер, отобрав по фенотипу 10000 растений, получит одно генетически действительно ценное.

Нашей научной школой созданы приоритетные принципы надежной идентификации генотипов по фенотипам в расщепляющихся популяциях: 1) принцип фоновых признаков (включен в энциклопедию Basic Life Science, Нью-Йорк, Лондон, Бостон), способный повысить надежность идентификации до 1000 раз [16], 2) принцип «ортогональной» идентификации, работающий с еще большей эффективностью [8], и принцип метамерной идентификации для хвойных моноподиальных деревьев [37].

При идентификации лучших генотипов и отборе их из популяций F_2 в фитотроне можно легко убрать шумы ГКШ и ЭКШ путем посева зерен F_2 в кассеты с вертикальными трубками, изолирующими корни растений друг от друга, и уменьшить ЭШ тщательным перемешиванием и выравниванием субстрата. Это резко повысит эффективность работы принципа фоновых признаков. В поле с помощью фоновых признаков П.П. Литун [18] поднял эффективность отборов уникальных генотипов с 0,01 до 15%. В фитотроне эффективность идентификации генотипов на основе принципа фоновых признаков может быть доведена до 80–90%.

В кассетах можно оценивать генетическую толерантность к загущению агроценоза по отдельным ра-

стениям F_2 , в поле эту работу можно делать только в F_5 – F_6 , когда появляется возможность организовать делянки с градиентом густот, что требует наличия большого количества семян в каждой семье и потери времени до F_6 (4 года).

В фитотроне можно в любую фазу онтогенеза легко организовать один-единственный (действующий в течение нужного промежутка времени) лим-фактор внешней среды, и на его фоне подобрать фоновый признак с максимально эффективной разрешающей способностью для идентификации генетических систем, «противостоящих» данному лим-фактору. Таким образом постепенно сформируется «библиотека» фоновых признаков для прецизионной идентификации наиболее ценных генетических систем, повышающих урожай. В полевых условиях организовать такую работу в принципе невозможно.

3. В современном растениеводстве открытого грунта пока отсутствуют методы строгой идентификации лим-факторов среды, действующих на разных фазах онтогенеза растений. Для закрытых систем, в том числе для ферментеров и для закрытого грунта в ростовых камерах, А.Г. Дегерменджи, Н.С. Печуркин и А.Н. Шкидченко [5] разработали хорошую формализованную теорию и алгоритмы идентификации лим-фактора путем поочередного «покачивания» каждого из факторов среды в замкнутой системе. Это в принципе позволяет отобрать нужные эколого-генетические системы для каждой фазы онтогенеза на фоне типичной динамики лим-факторов конкретной зоны селекции. «Фазовая» селекция позволит создавать сорта, превышающие стандартные по урожаю не на 3–4 ц/га, а на 8–12 ц/га и более.

4. Каждый селекционер, например, работающий с пшеницей, ежегодно организует 1000 скрещиваний и более. Это вызвано тем, что до последнего времени не была расшифрована эколого-генетическая структура трансгрессий и отсутствовала строгая теория подбора родительских пар для гибридизации. Сейчас механизм трансгрессий расшифрован, теория подбора пар в основном создана, поэтому сейчас для надежного получения трансгрессий достаточно скрещивать не 1000 сортов, а лишь 5–6 родителей, прошедших строгий эколого-генетический подбор. Это означает, что возможно сокращение объемов гибридизации в 200 раз по сравнению с традиционной полевой селекцией.

5. В поле при селекции на скороспелость короткие фазы онтогенеза (например, фазы «выход в трубку» и «колошение») протекают так быстро, что почти невозможно измерить их генетический полиморфизм и надежно подобрать пары для скрещивания: один родитель – с наиболее короткой фазой «выход в трубку», другой – с кратчайшей фазой «колошение». Работы Г.А. Макаровой [19] показали возможность «растянуть» эти фазы в условиях закрытого грунта, четко их увидеть и создать генотипы, на 10–12 дней более скороспелые, чем родительские сорта твердой пшеницы.

6. В фитотроне можно создавать любые типы и уровни засоления и кислотности почвы, что очень сложно осуществить в полевых экспериментах. Так, Международный центр Консультативной группы по сельскохозяйственным исследованиям «ИКАРДА» (Сирия) совместно с АО КазАгроИнновация недавно организовал под Кызыл-Ордой проект селекции ячменя на солестойкость, засухоустойчивость и устойчивость к поздним

весенним заморозкам. Главный метод – диагностирование соле- и засухоустойчивости на ранних фазах роста и развития в фитотронных камерах с помощью маркерных черт высокой продуктивности [21].

7. В фитотроне легко воздействовать на растения ультрафиолетом, моделируя эффект «озоновых дыр», чего нельзя сделать в поле. Селекция на устойчивость растений к ультрафиолету объявлена ФАО ООН всемирной актуальной проблемой.

8. В фитотроне можно строго количественно вести селекцию на увеличение выделения корнями пшеницы, ячменя и других злаковых культур аллелопатических веществ, угнетающих и даже убивающих сорняки на полях. Это новое направление селекции успешно реализуется сейчас в Японии и Китае в специально сконструированных фитотронных камерах.

9. В фитотроне можно строго организовать эксперименты по взаимодействию градиентов почвенных лим-факторов с метеорологическими, градиентов средств химической и биологической защиты, градиентов заражения болезнями и вредителями и т. п.

10. Благодаря искусственной выравненности лим-факторов (почвенных и метеорологических) в фитотроне можно существенно сократить число растений в повторностях и число самих повторностей при организации эксперимента, что позволит уменьшить себестоимость селекционного процесса.

11. Сейчас множество людей на Земле, особенно женщины и дети, страдают от недостатка микроэлементов в пище. По данным Академии питания Казахстана, более полутора миллионов человек в Казахстане поражены железодефицитной анемией. Добавки микроэлементов не решают проблемы, надо повышать естественное содержание микроэлементов в зерне. Недавно сформулирован биологический (селекционно-генетический) подход естественного повышения содержания микроэлементов в растениях. Он получил название «биофортификация» [21]. Под эгидой ООН, Всемирного банка, Консультативной группы по международным сельскохозяйственным исследованиям (КГМСХИ) начата реализация международной программы Harvest Plus. Это – альянс из 40 научных организаций, занимающихся генетикой и селекцией сельскохозяйственных культур (в основном зерновых) для повышения содержания микроэлементов. Международный центр пшеницы и кукурузы (СИММИТ, Мексика) является одним из лидеров этой важнейшей программы. Первый этап – изучение генетической вариативности содержания железа, цинка и бета-каротина в пшенице, рисе, кукурузе, просо, сорго, картофеле и др., оценка генетической стабильности повышенного содержания микроэлементов, оценка взаимодействия «генотип-среда» применительно к признакам содержания в зерне железа и цинка, оценка взаимодействия «генотип-технология» – по тем же признакам. Эти работы не могут быть выполнены без фитотрона особой конструкции с возможностью точного составления микроэлементного состава субстрата.

12. Только в фитотроне возможна селекция на способность генотипа давать много качественной продукции в закрытом грунте при недостатке света (экономия электроэнергии) и при пониженной температуре (экономия топлива).

13. Только в фитотроне можно строго количественно изучать генетику минерального питания растений

и вести селекцию на высокую «оплату» урожаем малых доз азота, фосфора, калия и других элементов минерального питания. Известно, что в общую себестоимость растениеводческой продукции стоимость азотных удобрений вносит вклад порядка 50–60%.

14. Только в фитотроне при снятии всех лим-факторов внешней среды можно увидеть чисто морфологические различия сортов по количественным характеристикам. Сравнивая уровень агрономически важного признака данного сорта на определенном уровне лим-фактора с эталонным уровнем того же признака на безлимитном фоне, можно получать строгие количественные оценки снижения уровня признака, то есть количественно определять степень адаптивности сорта к данной напряженности лим-фактора.

15. Только с помощью селекционного фитотрона можно организовать обратную связь процедур сортоиспытания с селекционером. Например, новый сорт селекционера превысил стандарт на 5 ц/га. В фитотроне на фоне типичной динамики лим-факторов среды данной зоны селекции быстро изучаются 7 систем продуктивности (аттракции, микрораспределений пластических веществ, адаптивности, горизонтальной устойчивости, «оплаты» лим-факторов почвенного питания, толерантности к загущению и вариативности длин фаз онтогенеза), и селекционеру идет информация, например: «Вы повысили холодоустойчивость фазы налива, но ослабили засухоустойчивость в фазе кущения, когда закладывается компонентный признак „число зерен на растении“». Если вы повысите засухоустойчивость фазы кущения, то ваш следующий сорт прибавит еще 5 ц/га».

16. Только в селекционном фитотроне может быть эффективно «перелопачена» коллекция ВИР им. Н.И. Вавилова для обнаружения максимальных эффектов ВГС для каждой зоны селекции РФ и для каждой фазы онтогенеза любой культуры. Сегодня в ВИР (как и вообще в Российской Федерации) нет конвейерной технологии по оценке конкретных донорских качеств сортов по агрономически важным характеристикам для типичных лет в разных зонах селекции.

17. Сегодня хорошо известно, что глобальное потепление климата происходит на Земле не равномерно по всей поверхности Земли, а «пятнами», например, в Европе быстрее всего «теплеет» на севере Франции и на западе Ленинградской области. Предвидеть картину «пятнистости» России через 40–50 лет не может никто. Если сегодня в России будет построен особой конструкции селекционный фитотрон, то в нем можно будет для любого климатического «пятна» оперативно, точно и быстро создать оптимальный сорт любого вида сельскохозяйственных растений или лесных пород.

18. Кроме резкого повышения эффективности селекции, которую может обеспечить ТЭГОКП, человечеству срочно необходимы пищевые технологии 3-го поколения, то есть прямое питание белком растений, но не животных. Если урожая семян сои, собранного с 1 га, хватит для пропитания одного человека в течение 5560 дней, то за счет мяса, произведенного коровой, съевшей этот урожай семян, человек может прожить только 193 дня. Энергетическая расточительность животноводства очевидна. Переход людей на прямое питание белком растений позволит увеличить производство продовольствия на Земле в 3–4 раза, сократив энергозатраты в 6–8 раз.

Традиционные пищевые культуры – пшеница и кукуруза (зерно) – дают с 1 га соответственно 350 и 390 кг белка, клевер – 1000 кг, а люцерна и эспарцет – по 1300–1500 кг. Белки этих трав очень ценны. Эталон – белок сои – по питательным свойствам практически равноценен белку женского молока, и в семенах сои белка почти в два раза больше, чем в мясе. Белку люцерны не хватает содержания только двух аминокислот – метионина и лейцина. Генетики должны срочно повысить в белке люцерны содержание этих аминокислот (в этом может помочь генная инженерия), чтобы белки сои и люцерны стали в этом отношении равноценными. Тогда из белка люцерны с ароматизаторами и красителями можно готовить котлеты, не менее вкусные, сытные и полезные, чем из говядины. Очень важно то, что в себестоимость урожая пшеницы и кукурузы 50–60% вносит цена азотных удобрений, а для бобовых трав они не нужны. Улучшение белков бобовых трав можно успешно вести только в фитотроне, изучая действие отдельно взятых лим-факторов на количество и качество белка и их разных комбинаций для точного определения оптимальных зон производства растительного белка на территории России.

За счет описанных двух рычагов (новых селекционных фитотронных технологий и пищевых технологий 3-го поколения) можно обеспечить качественной пищей более 10 млрд человек, которые обязательно появятся на Земле к 2050 г.

ЭТАПЫ МЕГАПРОЕКТА ПО ВНЕДРЕНИЮ ИННОВАЦИОННОЙ ФИТОТРОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКЦИИ НА ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ И УРОЖАЯ РАСТЕНИЙ

Любой мегапроект развивается поэтапно [33].

Этап 1. Формирование идеи. Осуществляется **первооткрывателями**. Они возвещают миру о том, чего еще никогда не было. Откуда идеи приходят к ним в голову – не знает никто.

Этот этап фактически выполнен. Сформулированы принцип фоновых признаков и ТЭГОКП.

Этап 2. Осмысление идеи. Упорядочивается внутренняя логика. Расчеты на бумаге показывают возможность практической реализации мегапроекта. Этот этап осуществляется **мыслителями**. Они доводят идею до той степени ясности, когда возможность (или невозможность) мегапроекта становится очевидной для относительно широкого круга элиты (под элитой понимаются люди, способные мыслить в заданных масштабе и теме).

Для данного мегапроекта сейчас нужны мыслители в научных направлениях: экологическая генетика сложных хозяйственно ценных признаков, экологическая физиология тех же признаков, математические модели сложных признаков, агрометеорология, подходы к инженерному воплощению фитотрона и осмысление элементов его конструкции, уточнение целей и задач селекции внутри разных родов и видов растений, энергетические параметры фитотрона, анализ себестоимости и результативности селекции в фитотроне и в поле.

Нужны специалисты: экологические генетики, экологические физиологи, системные математики, агрометеорологи, инженеры систем закрытого грунта, опытные селекционеры-эксперты, энергетики, экономисты.

Этап 3. Перенесение теории в область практики. Организация практической деятельности. **Организатор** – это, например, человек, которому в чистом поле надо построить авиационный завод. Есть чертежи будущего самолета. В лучшем случае к чертежам есть ресурс. В худшем – нет ничего, кроме чертежей. Все задачи имеют принципиально новый характер, списать у кого-либо решение невозможно. Решение задач, в том числе и по привлечению ресурса, требует озарения. Механический подход к процессу невозможен, скопировать ничего нельзя.

Этап 4. Руководство организованным в общих чертах практическим процессом. Для этого нужен **руководитель**. Он развивает ключевые направления. Процесс уже идет не в чистом поле. Как минимум поставлены палатки, обеспечено финансирование и найдены ключевые решения.

Этап 5. Администрирование, контроль работы механизма. **Администратор** следит за плановой работой механизма точно так же, как механик следит за давлением масла и другими техническими характеристиками. Требуется четкое исполнение. Творчество он проявляет только в организации работы рядовых исполнителей.

Этап 6. Механическое исполнение работ. **Исполнители** подобны разновидностям инструмента. От них требуется только точное исполнение поставленных задач. Творчество возможно лишь в очень и очень узких рамках.

Конструкция уникального селекционного фитотрона (на Россию достаточно одного), конечно, не должна повторять типы ранее построенных фитотронов в СССР (Одесса, Харьков, Омск, Красноярск, Краснодар и т. д.). Это должен быть специализированный генетико-селекционный фитотрон, впитавший новейшие разработки XXI в.

Фитотрон должен быть сердцевинной Российского Федерального центра исследований по селекции сельскохозяйственных культур. В Германии такой федеральный центр уже создан, и сейчас он очень эффективно работает.

Разработку оптимальной конструкции селекционного фитотрона в настоящее время наиболее квалифицированно может осуществить коллектив Агрофизического института РАСХН с привлечением квалифицированных экспертов из других организаций для «мозгового штурма» с целью решения конкретных задач.

Фитотрон обязательно должен иметь оригинальную приоритетную конструкцию, поскольку ТЭГОКП – приоритетная теория России. Многие узлы его будут защищены патентами. Селекционные технологии в нем пойдут по уже сформулированным и апробированным эколого-генетическим направлениям и 9 приоритетным ноу-хау, созданным в рамках ТЭГОКП.

Только в фитотроне можно полностью реализовать перечисленные ниже ноу-хау новой наукоемкой технологии повышения продуктивности и урожая растений [12]:

1) типизация динамики лимитирующих факторов среды для каждой зоны селекции и вида растений на основе приоритетных алгоритмов;

2) прогнозы возникновения трансгрессий и технологии подбора лучших родительских пар на основе ТЭГОКП;

3) технологии экспрессной оценки аддитивности действия физиолого-генетических систем для создания предсортов и сортов;

4) технологии прогноза экологически зависимо гетерозиса и подбор родительских пар для гетерозисной селекции;

5) технологии прогноза эффектов взаимодействия «генотип-среда» с помощью алгоритмов анализа динамики лим-факторов среды по фазам развития растений;

6) технологии прогноза генотипических, генетических (аддитивных) и экологических корреляций и методы отбора лучших генотипов на основе этих прогнозов;

7) теория и методы построения индексов количественных признаков и методы отбора по индексам;

8) технологии быстрой идентификации генотипов по их фенотипам с помощью принципа фоновых признаков и алгоритмов «ортогональной» идентификации по конечным (результатирующим) признакам и по компонентным признакам в разных фазах онтогенеза;

9) технологии создания стержневых коллекций в банках генетических ресурсов растений.

Компьютерные программы сопровождения селекционных технологий будут приоритетными и закрытыми.

Фитотрон с приоритетными научными и инженерными насыщениями сможет предложить на мировом уровне быстрое и надежное выведение нужного сорта определенного вида растений для любой растениеводческой точки Земли и для любой агротехнологии. При этом заказчик получит образец семян созданного нового сорта, а все ноу-хау, патенты, программы сопровождения наукоемких селекционных технологий, вся «кухня» центра останется закрытой на достаточно длительное время и сможет приносить России существенные доходы, создавая и реализуя новые урожайные и устойчивые сорта как для России, так и для любого зарубежного заказчика.

Ориентировочные затраты на проектирование и строительство селекционного фитотрона для ведения селекции по главным видам культурных растений России – 1,5 млрд рублей. Фитотрон, например для Северо-Западного региона, может быть построен как опытный образец, на котором будут «шлифоваться» будущие инновационные фитотронные технологии селекции. Его ориентировочная цена – 600–700 млн руб.

ФАКТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЕКЦИИ В ФИТОТРОНЕ

1. Организация процедур отбора в F_2 в фитотроне ускоряет селекционную работу в 4 раза.

2. Идентификация генотипов по их фенотипам с помощью принципа фоновых признаков и систем ортогональной идентификации до 1000 раз эффективней визуальной идентификации в поле, а в фитотроне – эффективность идентификации еще выше, кроме того, возможна идентификация генетических систем, противостоящих отдельно взятому лим-фактору на любой фазе онтогенеза.

3. Отборы лучших из 7 важнейших для продуктивности эколого-генетических систем для каждой фазы онтогенеза в фитотроне позволяют создавать сорта с прибавкой урожая в 2–3 раза большей, чем у сортов, создаваемых в поле (за счет возможности идентифицировать любой лим-фактор среды в фитотроне и за счет «вывода» на каждую фазу онтогенеза нужных для селекции генетических систем адаптивности (и других)).

4. За счет расшифровки механизмов трансгрессий и развития строгой теории подбора родительских пар вместо порядка 1000 скрещиваний в год (сейчас так работают селекционные) будут проводиться 5–6 скрещиваний.

5. Отбор индивидуальных растений на генетическую толерантность к загущению в фитотроне возможен в F_2 , в поле – в F_5 – F_6 . Фитотрон экономит селекционеру 3–4 года работы и избавляет от необходимости в слишком больших площадях питомника отбора.

6. Существует много новых актуальных направлений селекции растений, реализовать которые можно только через организацию селекционного процесса в фитотроне:

- селекция на устойчивость к кислым и засоленным почвам;
- селекция на устойчивость к ультрафиолету «озоновых дыр» в атмосфере;
- селекция на увеличение выделения корнями аллелопатических веществ, угнетающих сорняки;
- селекция на устойчивость к недостатку света и к пониженной температуре (для растений закрытого грунта);
- селекция на высокую «оплату» урожаем малых доз азота, фосфора, калия и других компонентов минерального питания;
- создание при полной элиминации лим-факторов среды эталонной коллекции морфотипов разных сортов, сравнение с которой отклонений признаков при воздействии лим-факторов разной напряженности позволит количественно определять адаптивность разных фаз онтогенеза;
- создание обратной связи процедур сортоиспытания с селекционером, который будет получать от фитотронщиков конкретные указания по дальнейшему генетическому улучшению сортов.

7. С помощью фитотрона могут быть решены важные стратегические государственные задачи:

- создание непрерывно работающего конвейера по эколого-генетическому «перелопачиванию» коллекций ВИРа для прогноза трансгрессий и подбора родительских пар для гибридизации и созданию предсортов для любой экологической зоны РФ и мира;
- противодействие любой «пятнистости» глобального потепления климата на территории России путем быстрого создания группы оптимальных сортов для каждого конкретного климатического «пятна»;
- генетическое преобразование белков бобовых трав для перехода на пищевые технологии 3-го поколения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сейчас идет экспансия мощных мировых селекционно-генетических фирм во все регионы мира, в том числе и в Россию. 10 июля 2008 г. германская компания KWS в Лебедянском районе Липецкой области заложила первый камень в основание опытно-

селекционной станции KWS – всемирно известного производителя семян. Эта фирма – лидер в селекции кукурузы и находится в ведущей тройке в селекции сахарной свеклы в мире. Каждый год специалисты KWS создают 90 новых сортов (гибридов) кукурузы, 70 – сахарной свеклы, 20 – зерновых и 5 – рапса. Стоимость такого европейского «Селекционно-биотехнологического комплекса» примерно 30 млн евро. Скоро в РФ будет построен ультрасовременный селекционный комплекс (блок 1 – культура органов и тканей, блок 2 – ДНК-технологии, блок 3 – создание трансгенных растений, блок 4 – фитотронный комплекс камер искусственного климата, блок 5 – полевой селекционно-семеноводческий комплекс). К сожалению, это будет не российский селекционный комплекс. Кроме того, его структура далеко не оптимальна с точки зрения ТЭГОКП, расшифровавшей «устройство» сложных свойств продуктивности и урожая.

В Институте растениеводства в Гатерслебене (Германия), где убедились в том, что геномика и протеомика пока не могут обеспечить мощные селекционные выходы на подъем урожая и на экономику Германии, объявлена как важнейшее направление в теории селекции растений «феномика», то есть разработка систем управления феноменами взаимодействия «генотип-среда». Строительство уникального фитотрона (правда, не селекционного, а исследовательского) в Гатерслебене практически уже закончено. Россия сможет выйти в мировые лидеры по технологии селекции растений, если она построит первый в мире **селекционный** фитотрон.

Беларусь в 2008 г. приняла вторую Программу развития селекции и семеноводства. В отличие от первой, вторая «должна быть „пронизана“ экологизацией, повышением информативности на базе сов-

ременных компьютерных средств и информационных технологий, ускоренным созданием сортов и гибридов через использование фитотронно-тепличных комплексов, качественной современной интегрированной в мировые генбанки схемой работы с генетическими растительными ресурсами» [15, с. 37].

К сожалению, большие надежды на повышение продуктивности и урожая сельскохозяйственных растений методами генной инженерии (выход на поля трансгенных растений начался в 1996 г., и сейчас они возделываются на десятках миллионов гектаров) – не вполне оправдались: урожаи не растут в ожидаемой динамике, а часто даже снижаются [25]. Кроме того, ТЭГОКП и ее 24 следствия, проверенные экспериментально, показали, что под признаками продуктивности постоянно (даже в течение одного дня) меняются наборы продуктов разных спектров и чисел генов при смене лим-факторов среды, так что признаки продуктивности не детерминируются стабильным набором менделевских генов в разные годы в одной точке и в один год в разных точках. Генная же инженерия пока умеет работать только с олигогенами и не умеет обращаться с «блуждающими» спектрами полигенов. ТЭГОКП создала фрагменты новой инновационной технологии эколого-генетического повышения продуктивности и урожая растений, и они сегодня работают более чем в 30 лабораториях и группах российских и зарубежных генетических и селекционных центров.

Проектирование и строительство предлагаемого Агрофизическим институтом РАСХН селекционного фитотрона (реализация мегапроекта) вполне может вывести Россию на лидирующие позиции в мире по обеспечению своего населения (и населения других стран) дешевыми и качественными продуктами растениеводства.

Литература

1. Брюбейкер Дж.Л. Сельскохозяйственная генетика. – М.: Колос, 1966.
2. Вавилов Н.И. Избранные труды. – М.; Л., 1965. – Т. 5. – С. 275.
3. Глазко В.И. Вавилов и его время. Хроника текущих событий. – Киев, 2005. – С. 315.
4. Глазко В.И., Глазко Г.В. Толковый словарь терминов по общей и молекулярной биологии, общей и прикладной генетике, селекции, ДНК-технологии и биоинформатике: В 2 т. – М.: Академкнига; Медкнига, 2008. – Т. 2. – С. 308.
5. Дегерменджи А.Г., Печуркин Н.С., Шкидченко А.Н. Аутостабилизация факторов, контролирующих рост в биологических системах. – Красноярск: СО АН СССР, 1979. – 211 с.
6. Драгавцев В.А., Литун П.П., Шкель Н.М. и др. Модель эколого-генетического контроля количественных признаков растений // Доклады АН СССР. – 1984. – Т. 274. № 3. – С. 720–723.
7. Драгавцев В.А., Цильке Р.А., Рейтер Б.Г. и др. Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири. – Новосибирск: СО АН, 1984. – 121 с.
8. Драгавцев В.А., Дьяков А.Б. Эколого-генетический скрининг генофонда и методы конструирования сортов с/х растений по урожайности, устойчивости и качеству. – СПб.: ВИР, 1998. – 52 с.
9. Драгавцев В.А. Библиография деятелей науки / ГНУ ГНЦ РФ ВИР. – СПб., 2005. – 6 с.
10. Драгавцев В.А. О «пропастях» между генетикой и селекцией растений и путях их преодоления // Идентифицированный генофонд растений и селекция. – СПб.: ГНЦ РФ ВИР им. Н.И. Вавилова, 2005. – С. 13–19.
11. Драгавцев В.А. Новый метод эколого-генетического анализа полигенных количественных признаков растений. – СПб.: ГНЦ РФ ВИР им. Н.И. Вавилова, 2005. – 30 с.
12. Драгавцев В.А. Основы будущих наукоемких селекционных технологий для генетического улучшения полигенных, экономически важных свойств растений // Аграрная Россия. – 2008. – № 4. – С. 2–9.
13. Драгавцев В.А. Уроки эволюции генетики растений // Биосфера. – 2012. – Т. 4. № 3. – С. 251–260.

14. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений как самостоятельная научная дисциплина. Теория и практика. – Краснодар, 2010. – 485 с.
15. Молекулярная и прикладная генетика / ред. Кадыров М.А., Лужинский Д.В. – Мн.: ИГиЦ НАН Беларуси, 2009. – С. 37.
16. Кочерина Н.В. Теория ошибок идентификации генотипов отдельных растений по их фенотипам по количественным признакам в расщепляющихся популяциях на ранних этапах селекции // С/х биология. – 2007. – № 1. – С. 96–102.
17. Кочерина Н.В., Драгавцев В.А. Введение в теорию эколого-генетической организации полигенных признаков растений и теорию селекционных индексов. АФИ. – СПб.: ИЦ «Дон Боско». Гатчина, 2008. – 87 с.
18. Литун П.П. Доклад на 4-м Всесоюзном Съезде ВОГИС. 2 февраля 1982 г. Кишинев.
19. Макарова Г.А. Наследование продолжительности межфазных периодов онтогенеза яровой пшеницы в связи с селекцией на скороспелость // Сельскохозяйственная биология. – 1996. – № 1. – С. 23–31.
20. Митрофанов В.Г. Доминантность и рецессивность. – М.: Наука, 1994. – 112 с.
21. Новости ЦАЗ. Международный информационный бюллетень, январь–март 2008 г. – Ташкент: Центр аграрных задач, 2008. – № 35 – С. 6–7.
22. Рекомбинантные молекулы: значение для науки и практики (книга). – М.: Мир, 1980. – С. 270, 275.
23. Сент-Дьерди А. Введение в субмолекулярную биологию. – М., 1966. – С. 41.
24. Серебровский А.С. Генетический анализ. – М., 1970. – С. 213.
25. Ситуация в сфере использования генетически модифицированных организмов: фальшивые обещания, неудавшиеся технологии // Сводный доклад общественных организаций и независимых экспертов (Общественные движения «Навданыя» и «Навданыя интернейшенл», Международная Комиссия по будущему развитию продовольственных и сельскохозяйственных систем. Центр продовольственной безопасности США) / Под ред. А.С. Баранова. – М., 2012. – 100 с.
26. Стент Г. Молекулярная генетика. – М., 1974. – С. 524.
27. Сюков В.В., Кочетков Д.В., Кочерина Н.В., Чесноков Ю.В., Бёрнер А., Ловассер У. Выявление QTL, определяющих количественные признаки у яровой пшеницы в условиях Среднего Поволжья // Вестник Саратовского государственного университета им. Н.И. Вавилова. – 2012. – № 10. – С. 91–94.
28. Тимофеев-Ресовский Н.В. О фенотипическом проявлении генотипа // Журнал экспериментальной биологии. – Серия А. – 1925. – Т. 1. – С. 93–142.
29. Тимофеев-Ресовский Н.В. Связь между геном и внешним признаком (феноменология проявления признака). 1934. Переизд.: Н.В. Тимофеев-Ресовский. Избранные труды. – М.: Медицина, 1966. – С. 71.
30. Финчем Дж. Генетическая комплементация. – М.: Мир, 1968.
31. Чесноков Ю.В., Почепня Н.В., Бёрнер А., Ловассер У., Гончарова Э.А., Драгавцев В.А. Эколого-генетическая организация количественных признаков растений и картирование локусов, определяющих агрономически важные признаки у мягкой пшеницы // Доклады Академии наук (РАН). – 2008. – Т. 418. № 5. – С. 1–4.
32. Чесноков Ю.В., Почепня Н.В., Козленко Л.В., Ситников М.Н., Митрофанова О.П., Сюков В.В., Кочетков Д.В., Ловассер У., Бёрнер А. Картирование QTL, определяющих проявление агрономически важных и хозяйственно ценных признаков у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в различных экологических регионах России // Вавиловский журнал генетики и селекции. – Декабрь 2012. – Т. 16. № 4/2. – С. 970–986.
33. Шалыганов Ю. Проект Россия. Книга 2. Выбор пути – СПб.: Эксмо, 2008. – С. 9–10.
34. Allard R.W. // Annual Rev. Genetics, 1999. V. 33. P. 1–27.
35. Borner A., Schumann E., Furste A., Costel H., Leithold B., Roder M.S., Weber W.E. Mapping of quantitative trait loci determining agronomic important characters in hexaploid wheat // Theor. Appl. Genet. 2002. V. 105. P. 921–936.
36. Dragavtsev V.A. Integration of Biodiversity and Genom Technology for Crop improvement // National institute of Agrobiological Resources. Japan. Tsucuba. 2000. P. 93–95.
37. Dragavtsev V.A. Algorithms of an ecology-genetical survey of genefound and methods of creating the varieties of crop plants for yield, resistance and quality. VIR. St.-Petersburg. 2002. 41 p.
38. Falconer D.S. An introduction to quantitative genetics. Oliver and Boyd. Edinburg-London. 1964.