

14.1

Новая система регуляции у растений и необходимость создания селекционного фитотрона в РФ

© В.А. Драгавцев

Агрофизический институт,
125220 Санкт-Петербург, Россия
e-mail: dravial@mail.ru

(Поступило в Редакцию 16 января 2018 г.)

Тот, кто обладает продовольствием, тот имеет оружие сильнее атомной бомбы. В мире есть только две реальные силы — сила энергетических ресурсов и сила продовольствия
(Эрль Батц — министр сельского хозяйства США в админ. президента Форда — 70-е годы XX века)

Хочешь легко победить любую страну — начни кормить ее своей пищей (Царь Иван Грозный)

Описана новая эпигенетическая система регуляции у растений — смена спектров продуктов генов, детерминирующих признак продуктивности, при смене лимитирующего фактора внешней среды. На основе этого открытия в период 1984–2014 гг. развита Теория эколого-генетической организации количественных признаков (ТЭГОКП) из которой вышли 24 прогностических следствия и 10 ноу-хау, позволяющие резко поднять эффективность отрасли — Селекция растений на повышение урожаев при условии создания в РФ приоритетного селекционного фитотрона. Представлен перечень необходимых биофизических приборов и инженерных конструкций, которыми должны быть обеспечены климатические камеры фитотрона.

DOI: 10.21883/JTF.2018.09.46416.26-18

Введение

По данным IFPRI (International Food Policy Research Institute of CGIAR, Washington, 2009) за 15 последних лет на планете Земля от недоедания умерло больше людей, чем было убито в результате всех войн, революций и катастроф за прошедшие 150 лет.

В наши дни в течение суток на Земле рождаются 250 000 младенцев. К 2030 г. население Земли достигнет 8 млрд человек. Если правительства и аграрии всех стран не смогут за оставшееся время увеличить объем растениеводческой продукции в мире в 2 раза, то над 2.5 млрд людей нависнет угроза голодной смерти.

Только за один 2011 г. число голодающих в странах АТЭС выросло на 40 млн человек, а к 2012 г. общее число голодающих в странах АТЭС достигло 200 млн.

Поэтому очень актуален призыв Саммита АТЭС-2012: „В долгосрочном плане все страны мира должны сфокусировать свое внимание на НИОКР в сельском хозяйстве, в целях содействия новой наукоемкой „зеленой“ революции“.

Минприроды и экологии РФ в документе от 08.07.2014 — „Стратегия экологической безопасности РФ на период до 2025 г.“, в разделе — „Внешние угрозы экологической безопасности“ подчеркнуло: „Необходимо предусмотреть селекционные исследования по выведению засухоустойчивых и холодостойких сельскохозяйственных культур“.

Эксперты ФАО (Продовольственной комиссии ООН) в отчете за 2014 г. пришли к выводу: „За последние

50 лет совокупный объем мирового производства с/х продукции увеличился в 2.5–3.0 раза, а площадь с/х территорий Земли — лишь на 12%. Дальнейший рост с/х территорий на Земле — невозможен. . . Мировой опыт показал, что техногенная интенсификация растениеводства не способна решить проблему дальнейшего повышения урожаев, но при этом связана с экспоненциальным ростом энергозатрат и нарушением экологического равновесия в природе. Глобальный кризис в с/х производстве XXI в. требует новой стратегии — биологизации растениеводства, т.е. создания устойчивых к абиотическим и биотическим факторам среды новых сортов, гибридов и видов сельскохозяйственных растений“.

В законе РФ — „Стратегия национальной безопасности России“, утвержденном Указом Президента РФ от 31 декабря 2015 г., пункт 54, с. 17 подчеркнуто: „Продовольственная безопасность РФ осуществляется за счет. . . развития племенного дела, селекции и семеноводства. . .“.

В Германии, Англии, Франции, Швеции, Ирландии среднегодовые урожаи зерновых культур (не на черноземах) 60–70 q/ha, в России (не на черноземах) — 17–18 q/ha. Более 70% территории России — зона рискованного земледелия. Сельскохозяйственный сезон в РФ — 2–4 месяца, в Европе и США — 8–9 месяцев.

Акад. А.А. Жученко подчеркивал: „Чем хуже почвенно-климатические условия региона, тем выше роль биологизации и экологизации растениеводства, т.е. роль сорта“ [1].

Сегодня в развитых странах агротехнологии доведены почти до возможного „потолка“. Дальнейшее повышение урожаев зерновых в этих странах на 95% зависит от новых генетико-селекционных технологий и только на 5% от дальнейшего улучшения агротехнологий. В России это соотношение 70 к 30%.

Сегодня мы имеем две основные проблемы мирового сельского хозяйства — решение проблемы недоедания и голода растущего населения планеты и снижение негативного влияния сельского хозяйства на биосферу.

Роль селекции в повышении урожая

Какие же факторы среды „срезают“ урожаи на растениеводческих территориях России?

Главные из них: морозы (для озимых и древесных плодовых культур), заморозки, холода, засухи, жара, кислые и засоленные почвы, явления вымокания, выпревания и др.

С ними невозможно (или очень дорого) бороться агротехническими приемами, но вполне возможно — генетико-селекционными технологиями.

Селекция растений на три порядка дешевле применения агротехнологий, так как созданный при малых затратах новый сорт „работает“ на полях до 10 и даже более лет, не требуя финансовых вложений, а дорогие агротехнические приемы надо применять ежегодно, а некоторые (опрыскивание садов химикатами) до 10 и более раз.

Акад. Н.И. Вавилов мечтал о создании теории селекции растений: „Мы не отказываемся от селекции как искусства, но для уверенности, быстроты и преемственности в работе мы нуждаемся в твердой, разработанной, конкретной теории селекционного процесса. Коллектив не может работать по интуиции, на случайных удачах“ [2].

Он обращался к генетическим НИИ АН СССР: „От общих институтов мы ждем большой помощи в теоретической разработке проблемы наследственности количественных признаков. . . Генетик должен подойти к самой проблеме роста организмов“ [3].

История исследований

Группой сибирских генетиков (ИЦиГ СО АН) и селекционеров восьми сибирских селекционных центров в процессе выполнения кооперированной межведомственной программы ДИАС (Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири — на территории от Урала до Забайкалья и от Тюмени до Усть-Каменогорска, 1974–1984), была открыта новая система регуляции развития свойств продуктивности — смена спектров продуктов генов, детерминирующих один и тот же признак, при смене лимитирующего фактора внешней среды [4].

Ранее были известны ДВЕ категории регулирующих механизмов — системы регуляции генной экспрессии и регуляции синтеза белков. Теперь стало ТРИ группы механизмов, возможно, полностью определяющих надгенные (эпигенетические) сдвиги внутриклеточных реакций и настройку спектров продуктов генов к новому лимитирующему фактору среды. На основе этого открытия в период 1984–2014 гг. нашей научной школой (к 2017 г. в ней 35 кандидатов и 12 докторов наук) была развита Теория эколого-генетической организации количественных признаков (ТЭГОКП), опередившая существующий мировой уровень экологической генетики растений во всех странах на 10–15 лет. Таким образом, создан приоритетный российский научно-технологический задел для перевода отрасли „Селекция растений на повышение урожаев в РФ“ из 3-го технологического уклада — в 6-ой.

Мы считаем, что мечты Н.И. Вавилова 1935 г. удалось реализовать в ТЭГОКП, которая развивалась в период 1984–2014 гг. и завершилась 24 оригинальными научными следствиями и 10 селекционно мощными ноу-хау [5,6]. Теория и ее элементы включены в Международную энциклопедию Basic Life Sciences. Vol. 8. P. 233–240. Plenum Press — New York and London [7], в Толковый словарь по общей и молекулярной биологии, общей и прикладной генетике, селекции, ДНК технологии и биоинформатике, Т. 2. С. 308 [8], в Толковый словарь по инновационным вопросам селекции, семеноводства и размножения растений (русско-английский), Симферополь, „ДИАЙПИ“, С. 122 [9], в Краткий словарь терминов по лесной генетике, Красноярск, Наука СО РАН. 2015, (метод фоновых признаков) [10].

Сжатая формулировка ТЭГОКП [8]: „Для признака, подверженного феномену взаимодействия „генотип–среда“, невозможно дать стабильную — „паспортную“ генетическую характеристику для всех сред“.

ТЭГОКП была создана на основе открытия новой системы регуляции развития признаков продуктивности. Рассмотрим место этой новой системы в ряду уже известных и описанных систем регуляции у растений.

I. Системы внутриклеточной регуляции

А. На уровне ядра: 1) блокада и индукция генной активности; 2) стохастичность экспрессии генов; 3) альтернативный сплайсинг; 4) транскрипция (энхансеры, сайленсеры, инсуляторы); 5) транспозоны; 6) метилирование ДНК; 7) ацетилирование гистонов (гистоновый код); 8) мутации и рекомбинации; 9) изменения чисел хромосом.

Б. На уровне цитоплазмы: 10) трансляция; 11) активация молекул белка; 12) компартиментация; 13) малые РНК и функционирование белков; 14) действие митохондриальных и хлоропластных генов.

II. Системы организменной регуляции

15) поля и градиенты; 16) системы с иерархией катализаторов, формирующие „пороговые“ признаки; 17) обмен метаболитами (source, sink); 18) корреляции, индуцированные регуляторными метаболитами (эвокатеры, индукторы); 19) гормональные регуляции; 20) миксоплоидия; 21) генетическая коадаптация; 22) эпигенетические феномены морфогенеза. Генетико-физиологические системы: 23) аттракции; 24) микрораспределений аттрагированной пластики; 25) „оплаты“ сухой биомассой лим-фактора почвенного питания (N, P, K); 26) генетической вариабельности длин фаз онтогенеза.

III. Системы уровня „организм—среда“

27) прямой ответ на лим-факторы среды—модификации; 28) заблаговременная координация онтогенеза — яровизация, фотопериодизм; 29) средовая индукция генной активности — белки теплового и холодового шоков, Ca²⁺ — кальмодулин, трансмембранный потенциал и т.п.; 30) эпигенетические переключения опероноподобных циклических систем, продуцирующие генотрофы, никотинотрофы и т.п.;

31) система переопределения спектров продуктов генов, детерминирующих количественный признак, при смене лим-факторов внешней среды (эта система была открыта в 1984 г. группой исполнителей программы „ДИАС“ (Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири [4]). Генетико-физиологические системы: 32) адаптивности (морозо-, холодо-, засухо-, жаро-, солеустойчивости, устойчивости к кислым почвам и т.п.; 33) полигенного (горизонтального) иммунитета; 34) толерантности к загущению фитocenоза.

IV. Системы популяционного уровня регуляции

35) дарвиновский отбор; 36) проэмбриональный отбор; 37) дрейф генов; 38) миграции (потoki) генов; 39) изоляции; 40) инбридинг; 41) стабилизация генных частот — закон Харди–Вайнберга.

V. Системы фитocenотического уровня регуляции

42) возникновение групповых признаков в фитocenозе, например „толерантность“ к загущению; 43) взаимодействия растений в фитocenозе — конкуренция, аменсализм, комменсализм, аллелопатия; 44) временная динамика фитocenоза.

Таким образом, на сегодня известны 44 системы регуляции динамики накопления сухой биомассы и ее распределения внутри растения и на единице площади

агрофитocenоза. Этими системами можно управлять на разных уровнях организации жизни растений — молекулярном, клеточном, органном, организменном, популяционном и фитocenотическом.

Управление можно осуществлять, работая в русле двух парадигм: агротехнологической (подгонка среды под требования растительного организма) и генетико-селекционной — (подгонка генотипа растения под конкретную среду).

Большое число систем регуляции у растений обещает существенный аддитивный эффект повышения урожая, даже при малом плюсовом вкладе в урожай каждой из 44 систем регуляции.

Открытие 31 системы регуляции (смены спектра продуктов генов, детерминирующих один и тот же признак продуктивности, при смене лимитирующего фактора среды) привело к созданию и развитию (1984–2014) Теории эколого-генетической организации количественных признаков (ТЭГОКП), основанной на новой эпигенетической парадигме наследования и развития [11–13].

Значимость селекционного фитотрона

Из ТЭГОКП вышли 24 важных для селекции следствия и 10 мощных ноу-хау. Стало ясно, что „блуждающий“ спектр продуктов генов под признаком во времени его формирования и развития строго диктует необходимость сконструировать в РФ первый в истории селекционный фитотрон, в котором можно искусственно создавать типичные динамики лим-факторов среды, которые свойственны типичным годам в конкретной зоне селекции, для которой требуется создать максимально урожайный и гомеостатичный сорт.

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

Селекционный фитотрон позволит в любую фазу онтогенеза родителей и гибридов „выводить“ с помощью „удара“ нужным лим-фактором среды генетико-физиологические системы адаптивности на признак, закладывающийся в эту фазу, и оценивать характер „противостояния“ данной фазы (по уровню признака) данному лим-фактору — стрессору.

ТЭГОКП впервые раскрыла механизмы и возможности создания сортов для любой точки Земли в одном фитотроне и указала пути резкого ускорения селекционного процесса и принципиального повышения его эффективности.

На основе ТЭГОКП нашей научной школой созданы инновационные технологии эколого-генетического повышения урожая, которые могут быть реализованы только с помощью построенного в России селекционного фитотрона стоимостью около 5 млрд руб. Обоснование мегапроекта по созданию селекционного фитотрона получило одобрение и поддержку Комитета по науке и инновационным технологиям Государственной

Думы РФ, положительное Заключение Высшей Государственной экспертизы РФ № 573 от 17.09.13 (ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ), поддержку ФАНО и Правительства Санкт-Петербурга. Мегапроект содержит 10 мощных ноу-хау для создания и реализации инновационных технологий селекции на повышение урожая. С их помощью „узнавание“ (идентификация) уникальных ценных генотипов при отборах будет выше в сотни раз, сокращение объемов скрещиваний — в 100–200 раз, сокращение сроков селекции на толерантность к загущению — в 3 раза, сроки создания и внедрения новых сортов снизятся в 2–3 раза. Селекционный фитотрон сможет конструировать сорта для любой точки планеты. Фитотронные технологии селекционного фитотрона обеспечат перевод отрасли селекции растений России из третьего технологического уклада — в шестой и будут конвейерно создавать сорта с высоким экспортным потенциалом.

Возможное эколого-генетическое повышение урожая яровой пшеницы за счет инновационных фитотронных технологий, вышедших из ТЭГОКП, в южной зоне Западной Сибири — 50–70%, на Северо-Западе РФ — 60–80%. Эти прибавки могут быть достигнуты только при запуске инновационных технологий селекции в специально построенном селекционном фитотроне.

Предварительный список оборудования для фитотронных технологий в селекционном фитотроне

В США лауреат Нобелевской премии Дональд Глазер в 70-е г. разработал систему, состоящую из компьютера, лазерной установки и сканирующих приспособлений. Эта система позволила ему вести отбор бактериальных (или растительных) клеток такими темпами, которые ранее были невыполнимы: за 1 с можно было оценить 5 вариантов по 18 параметрам, а за год — до 40 млн вариантов. Пользуясь обычными методами визуально-измерительной оценки, один сотрудник за год может провести отбор лишь среди 4000–5000 образцов (вариантов). Такую же установку необходимо создать для растений для быстрого отбора нужных клеток в клеточных суспензиях (клеточная селекция).

Кроме того, даже по прорастающим семенам разных сортов на разных фонах лим-факторов (засуха, холод, жара, засоление, кислые почвы и т.п.) по темпам роста, по форме проростка, по структуре корней и т.д.) можно вести селекцию на адаптивность. Для этого нужна установка, подобная установке Д. Глазера, адаптированная для отборов клеток, семян, проростков и молодых растений. Такая же установка нужна для анализа компонентов продуктивности растущих растений по разным фазам развития на фоне разных лим-факторов среды.

В первую очередь для фитотронной селекции нужны следующие приборы и оборудование:

1. Ауксонографы. Послевоенный ауксонограф — это ниточка, прикрепленная к макушке растущего растения,

перекинутая через блок и идущая к барабану с часовым механизмом, по которому скользит перо, привязанное к ниточке. Перо рисует на барабане динамику роста и все приостановки роста при изменении лимитирующего фактора среды. Современные ауксонографы — это фотоустановки, делающие фотографии через определенные промежутки времени и рисующие динамику роста каждого сорта в испытываемой группе сортов со всеми ускорениями и замедлениями.

2. Приборы для быстрой оценки влажности субстрата (почвы) в вегетационных сосудах (в АФИ был разработан измеритель импеданса для быстрой оценки влажности почвы, но он был громоздким, а нужен портативный прибор).

3. Инженерные системы автоматического взвешивания вегетационных сосудов с передвижением их по „рельсам“ к весам и обратно и автоматическим поливом каждого сосуда до нужного процента от полной влагоемкости почвы.

4. Ризотроны для отбора растений с максимально длинной корневой системой и с ортотропной ее структурой. Принципы конструирования ризотронов были разработаны в АФИ, но для селекционного фитотрона нужны совершенно иные конструкции. Сегодня существуют более продвинутые приборы для изучения корневых систем: в 2006 г. в Филадельфии на Всемирном конгрессе почвоведов демонстрировался портативный лазерный прибор для изучения морфологии и структуры корневой системы прямо в почве. Есть и рентгеновские аппараты для этих целей.

5. Портативные регистраторы импеданса листьев и стеблей для быстрой идентификации засухоустойчивых генотипов при селекции на засухоустойчивость.

6. Приборы миллиметровой спектроскопии для неразрушающих неинвазивных измерений влажности, например листьев растений, крайне необходимые для создания засухоустойчивых сортов (разрабатываются в ФИРЭ РАН, Фрязино, С. фон Гратовски и М. Пархоменко).

7. Портативные тепловизоры для быстрой оценки влажности тканей растений.

8. Портативные рефрактометры для регистрации осмотического давления в корневых волосках стеблях и листьях растений при селекции растений на засухоустойчивость.

9. Компактные рентгеновские установки для определения глубины заложения узла кушения у хлебных злаков, числа зерен в колосе в фазу колошения, повреждений зародышей в семенах, оценки степени выполненности стебля хлебных злаков, оценки качества срастания подвоя и привоя (плодовые и виноград). Вице-президент РАЕН проф. Г.Н. Фурсей (СПб) получил Госпремию за создание такой установки, но она пока еще не адаптирована для селекции растений.

10. Приборы, регистрирующие свечение Кириана (интегральный показатель качества биополя у растений).

11. Очки и бинокляры селекционера, позволяющие видеть и отбирать отдельные растения в расщепля-

ющейся популяции по содержанию ценных веществ (например, ликопина в плодах томатов).

12. Датчики динамики роста стебля в толщину, роста плода по диаметру и приборы, записывающие ритмику их роста и радиопередатчики этой информации на компьютер.

13. Датчики температуры листьев и температуры воздуха с минимальной инерционностью и радиопередатчики этой информации на компьютер.

14. Современное светодиодное освещение внутри ростовых камер фитотрона с регуляцией его продолжительности, интенсивности и спектра.

15. Лазерные приборы для быстрой идентификации отдельных растений по продукту ценного олигогена у отдельных растений в расщепляющейся популяции. Например, наш патент на изобретение № 2300193 (ВИР-АФИ) с приоритетом 07 декабря 2005 г. — по отражению лазерного луча определенной частоты можно быстро узнать наличие ценного гена в данном растении, например по продукту гена скороспелости, — фитохрому можно быстро находить и отбирать на ранних фазах роста скороспелые генотипы, не прибегая к дорогостоящей регуляции длины дня путем ежедневного выкатывания и закатывания вагонеток с растениями на нужную длину дня из темных помещений на свет.

16. Приборы рентгенофлуоресцентного анализа растительных материалов.

17. Современные климатические камеры (лучшие в мире — из Канады и Швеции) имеют в своей структуре следующие регулируемые параметры: температура — от -40 до $+50^{\circ}\text{C}$ с шагом в 0.5°C и устройствами выравнивания температуры в объеме всей камеры, с возможностью задать любую динамику температур по фазам развития растений. Регуляция влажности воздуха в большом интервале с возможностью задать любую динамику по фазам развития растений. Регуляция освещенности, спектра освещения, длины дня. Сегодня для экономии электроэнергии в камерах ставят светодиодные светильники. После создания двумя японцами синего светодиода (за это они получили Нобелевскую премию), сейчас можно делать любые спектры освещения, в частности, полностью идентичные солнечному свету.

18. Для поддержания градиентов влажности почвы по группам вегетационных сосудов созданы установки, на которых по специальным рельсам сосуды подъезжают к весам, взвешиваются, затем подъезжают к поливному автомату, который добавляет в каждый сосуд (по весу) воду, чтобы держать постоянным нужный процент влагоемкости субстрата.

19. Если возникает необходимость записывать внутри камер динамику температур по фазам развития растений, то в камеру ставят термографы, если динамику влажности воздуха — влагомеры, если состав газовой среды — газоанализаторы.

Можно установить внутрь камер любые портативные приборы контроля любых динамик любых факторов

среды (они регистрируют неточности и сбои в автоматических программах управления лим-факторами среды самой камеры).

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 07-04-01714; № 13-01-96519 и № 16-04-00199.

Список литературы

- [1] Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений как самостоятельная научная дисциплина. Теория и практика. Краснодар: Изд-во Просвещение-Юг, 2010. 486 с.
- [2] Вавилов Н.И. Теоретические основы селекции растений. 1935. Т. 1. С. 5.
- [3] Вавилов Н.И. Избранные труды. 1965. Т. 5. С. 283–284.
- [4] Драгавцев В.А., Цильке Р.А., Рейтер Б.Г., Воробьев В.А., Дубровская А.Г., Коробейников Н.И., Новохатин В.В., Максименко В.П., Бабакишиев А.Г., Илющенко В.Г., Калашник Н.А., Зуйков Ю.П., Федотов А.М. Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1984. 230 с..
- [5] Драгавцев В.А., Литун П.П., Шкель Н.М., Нечипоренко Н.Н. // ДАН СССР. 1984. Т. 274. № 3. С. 720–723.
- [6] Драгавцев В.А. // Биосфера. 2012. Т. 4. № 3. С. 251–262.
- [7] Международная энциклопедия „Basic Life Sciences“ NY, London: Plenum press, Vol. 8. P. 233–240.
- [8] Толковый словарь по общей и молекулярной биологии, общей и прикладной генетике, селекции, ДНК-технологиям и биоинформатике / Под ред. В.И. Глазко, Г.В. Глазко. М.: Академкнига, Медкнига, 2008. Т. 2. С. 308.
- [9] Толковый словарь по инновационным вопросам селекции, семеноводства и размножения растений (русско-английский) / Под ред. Н.М. Макрушин, В.А. Драгавцев, С.И. Малецкий, А.М. Малько, Е.М. Макрушина, Р.Ю. Шабанов. Симферополь: Диайпи, С. 122.
- [10] Краткий словарь по лесной генетике. Метод фоновых признаков. Красноярск: Наука, 2015.
- [11] Драгавцев В.А., Малецкий С.И. // Биосфера. 2015. Т. 7. № 2. С. 155–168.
- [12] Малецкий С.И., Драгавцев В.А. // Политическая концептология 2016. № 1. С. 249–254.
- [13] Драгавцев В.А., Малецкий С.И. // Биосфера. 2016. Т. 8. № 2. С. 143–150.