

# Зеленая революция по-русски

Российскими учеными разработаны фиторегуляторы и стресспротекторы нового поколения

Равиль Гафуров, д. х. н., профессор,  
г. н. с. ИФАВ РАН



**Р**егуляторы роста и развития растений (РРР) сыграли выдающуюся роль в так называемой «зеленой революции» второй половины XX века. Она коснулась всех основных аграрных регионов мира, производящих продовольственную и техническую продукцию: от зерновых, бобовых, овощных и плодовых до сахара, хлопка и натурального каучука. В наибольшей степени от нее выиграли развитые страны, где продуктивность сельского хозяйства почти удвоилась: один голландский фермер сегодня в состоянии прокормить в среднем более ста человек. Не дефицит продовольственного обеспечения, а кризис перепроизводства продовольствия, связанный с падением цен и сокращением рабочих мест, считается реальной угрозой экономике процветающего Запада. И правительства многих стран Западной Европы доплачивают фермерам из бюджета часть упущенной прибыли при условии сокращения посевных площадей или отказа от применения части эффективных агротехнологий.

Мировое производство РРР по тоннажу занимает третье место после промышленности химических удобрений и средств защиты растений.

## Первое поколение РРР

Химические средства для регулиро-

вания роста и развития растений известны с середины XX века. Химия РРР началась со случайных открытий и развивалась путем аналогового синтеза новых соединений. Средством отбора лучших веществ был метод проб и ошибок, так называемый тотальный скрининг. После испытаний тысяч веществ практическое применение находило одно-два. В 1946 году советскими учеными М. И. Кабачником и П. А. Российской были опубликованы данные о синтезе 2-хлорэтилфосфоновой кислоты. В 1967 году американские исследователи Леопольд и Вернер (Leopold A., Wörner E.) обнаружили его высокую физиологическую активность как источника природного фитогормона этилена. При опрыскивании водными растворами вещество легко поглощалось листьями и распадалось в растении с образованием этилена. Оно было запатентовано как средство, ускоряющее и синхронизирующее созревание (желчение) листьев табака, а позже — коробочек хлопчатника. Буквально через год американская фирма «Амхем» начала промышленный выпуск препарата под названием этефон. Сегодня препараты на основе 2-хлорэтилфосфоновой кислоты и других этиленпродуцентов являются самым крупнотоннажным продуктом среди регуляторов роста и развития растений.

Добавим, что синтетические РРР ча-

ше всего действуют на растение примерно так же, как и отдельные природные фитогормоны (ауксины, цитокинины, этилен, абсцизины), стимулирующие рост растений. Но есть и такие, что действуют наоборот, а именно, тормозят биосинтез одного из фитогормонов в растении, как это делают ретарданты по отношению к биосинтезу гиббереллинов, контролирующих рост растения в высоту. Так, например, проявляется ретардантное действие хлорохлинхлорида и некоторых других солей четвертичного аммония. Ретардантами обрабатываются посевы высокорослых сортов пшеницы с тяжелым колосом и повышенной урожайностью, выращиваемые на высоких фонах удобрений. Они наиболее подвержены ветровому полеганию при ненастьях и по этой причине несут большие потери зерна во время уборки. Под действием ретардантов из-за меньшей выработки гиббереллинов сокращается длина междоузлий стебля, утолщаются его стенки, в итоге соломина приобретает прочность и жесткость, достаточные для противостояния полеганию под влиянием дождей и ветров.

## Особенности российского агробизнеса

Есть три взаимодополняющих пути повышения устойчивости высокопродуктивных культурных растений.

**Генная модификация.** Стремительно развивающиеся методы генной и клеточной инженерии позволяют направленно изменять наследственный код растений и создавать новые сорта, устойчивые к определенным видам насекомых-вредителей, фитопатогенов и гербицидов. Однако природная устойчивость диких видов есть следствие целого ряда качеств, приобретенных в ходе длительной эволюции путем естественного отбора, и контролируется многими генами. Это обстоятельство существенно усложняет задачу генетической передачи такой устойчивости от диких видов культурным растениям. Поэтому создание высокопродуктивных трансгенных сортов, обладающих универсальной устойчивостью, в том числе и к метеорологическим стрессам, есть дело будущего.

**Селекция.** Во-вторых, важнейшее значение имеет селекционная работа по выведению новых, более продуктивных сортов и гибридов сельскохозяйственных растений с лучшей устойчивостью к метеорологическим и патогенным стрессам. Однако для выведения нового сорта или гибрида и введения его в хозяйственный оборот требуется срок около десяти лет. Более интенсивным сортам необходим повышенный уровень агрофона, что далеко не всегда возможно обеспечить на практике при существующем уровне экономики аграрного сектора РФ. Кроме того, продуктивность и устойчивость находятся, как правило, во взаимобратной связи.

**PPP.** Третьим путем является использование стресспротекторов и фиторегуляторов, применяемых для предпосевной обработки семян или для опрыскивания посевов. Оно остается на сегодня самым доступным, конкурентоспособным и эффективным средством стресспротекторной защиты и повышения продуктивности растений.

Рассмотрим возможности, которые открывает применение новых стресспротекторов и фиторегуляторов только в одной ключевой отрасли растениеводства. Семеноводство в России, как и во всем мире, является высокодоходной отраслью. Тем не менее на ряде всероссийских совещаний отмечалось общее падение качественного уровня семеноводства, в том числе и на семенных заводах основных свеклосеющих регионов РФ. По данным Гулькевического филиала Северо-Кавказского НИИ сахарной свеклы и сахара, применение препаратов нового поколения семеноводческими хозяйствами Центрально-черноземного региона и Северного Кавказа при заводском дражировании позволило бы гарантировать высокое

качество свеклосемян, повысить устойчивость и урожайность посевов и существенно увеличить рентабельность семеноводства сахарной свеклы и сахароварения.

Следует особо сказать о Московской области. Она, как никакой другой регион, насыщена научно-исследовательскими институтами РАСХН и семеноводческими хозяйствами, которые имеют многолетний опыт успешной селекции, семеноводства и выращивания высокопродуктивных сортов и гибридов зерновых, овощных и садовых культур и нуждаются в средствах для их быстрого размножения и районирования. Необходимость интенсификации растениеводства в Московской области обостряется сокращением сельскохозяйственных угодий из-за отвода земель под промышленное, транспортное, жилищное и дачное строительство. По перечисленным причинам использование в условиях Подмосковья результатов разработок, представленных в данной статье, может дать значительный хозяйственный, технико-экономический и социальный эффект.

Как показали результаты исследований, применение новых стресспротекторов и фиторегуляторов в агротехнологиях закрытого грунта увеличивает массу урожая парниковых культур на 25–60 %, улучшает качество овощей по содержанию сухого вещества, аскорбиновой кислоты, калия и магния и при этом сокращает энергозатраты на 15–20 %.

## Два вида активности в одном препарате

В Институте физиологических веществ РАН впервые разработана стратегия целевого химического синтеза фиторегуляторов и стресспротекторов с заданными свойствами.

Два процесса являются ключевыми в жизни растения: а) прорастание семени и укоренение проростка; б) образование и развитие плодоземелетов и семян. От них в первую очередь зависит сохранение и размножение вида. Прорастание и укоренение контролируется в первую очередь природными фитогормонами двух групп — ауксинами и гиббереллинами. Ауксины обеспечивают развитие корневой системы, гиббереллины — рост надземной части растения. Дополнительная стимуляция укоренения проростка ауксинами при небольшом торможении развития надземной части позволила бы перераспределить запасы питательных веществ семени в пользу корнеобразования, а это в свою очередь повысило бы устойчивость и продук-

тивность посевов. Те же ауксины контролируют поступление пластических веществ из питающего флаг-листа в развивающиеся семена и плодоземелеты при плодonoшении. Нехватка ауксинов во многом определяет неравномерность созревания плодов и замедляет их развитие. В пору плодonoшения приостановка излишнего накопления зеленой массы растения полезно для урожая, т. к. позволяет перераспределить часть минерального и водного питания для развития плодоземелетов.

Таким образом, фиторегуляторы, подлежащие разработке, должны были обладать не одним, а, по крайней мере, двумя взаимодополняющими видами рострегулирующей активности: ауксиновой и антигибереллиновой, содействующей росту плодов и тормозящей разрастание зеленой массы.

В отличие от PPP, полученных ранее, новые фиторегуляторы имеют не один, а два или три взаимодополняющих вида активности. Это количественное изменение дало новое качество — повышение (по сравнению с известными эталонами) технико-экономической эффективности. По этим двум особенностям они были названы «фиторегуляторами и стресспротекторами нового поколения», термин был принят на VI Международной конференции «Регуляторы роста растений в биотехнологиях» (2001 г.).

## Бензихол и этихол

Из первой группы стресспротекторов и фиторегуляторов нового поколения для деляночных и производственных испытаний на ведущих продовольственных и технических культурах были отобраны препараты бензихол и этихол.

При предуборочной обработке посевов препаратами бензихол и этихол развивающиеся плодоземелеты получают дополнительный ауксин, что ускоряет и синхронизирует созревание. С другой стороны, ретардантная активность этих соединений предотвращает израстание и излишнее накопление массы надземной части растения в предуборочный период. Водное и минеральное питание, которое обеспечивается мощной корневой системой, развитой после предпосевной обработки семян теми же фиторегуляторами, направляется в основном на формирование плодоземелетов. Оба фактора приводят к существенному повышению массы и качества урожая. Вместе с тем бензихол и этихол проявили ярко выраженную стресспротекторную активность как на культурах закрытого, так и открытого грунта. Однако необходимо подчеркнуть, что если речь идет о защите от по-

следствий засухи, то имеется ввиду засуха средней тяжести. Если в регионе в течение трех месяцев, начиная с мая, не выпадает ни одного дождя, а температура на почве достигает 40–45°C, как это было в Краснодарском крае в 2003 году, то средств защиты от такой засухи нет, и посевы погибают.

Препараты бензихол и этихол прошли многолетние деляночные и производственные испытания в почвенно-климатических условиях всех административных округов Европейской части РФ. В качестве примера приводим усредненные данные за два года (2001–2002) о влиянии бензихола на продуктивность посевов сахарной свеклы первого года жизни при безвысадочной технологии выращивания свеклосемян. Исследования выполнены в Отделе селекции и семеноводства Гультяевского отделения Северо-Кавказского НИИ сахарной свеклы и сахара РАСХН под руководством д. с.-х. н. А. Г. Шевченко.

Климатические условия Краснодарского края позволяют проводить двухлетний цикл производства свеклосемян, оставляя корнеплоды на зиму в земле. Однако при этом велики потери от фитопатогенов и низкой температуры.

Применение бензихола повышает сохранность посевов на 20 %, урожайность семян увеличивается на 14 %, улучшаются показатели по всхожести и однородности. Более того, последующее использование таких семян на фабричных посевах сахарной свеклы су-



Для выведения нового сорта растения и введения его в хозяйственный оборот требуется срок до 10 лет

Bob Lawrence & Associates

щественно повышает продуктивность и технологические качества свекловицы. Заводский выход белого сахара увеличивается на 0,8 т/га при массе урожая 52 т/га.

По данным лаборатории семеноведения ВНИИ зернобобовых культур РАСХН, г. Орел (к. б. н. Н. А. Платонова, к. с.-х. н. А. Ф. Путинцев, 1999–2000 гг.) предпосевная обработка семян двух сортов гороха «Орпела» и «Труженик» бензихолом или этихолом существенно ускоряет прорастание семян и их укоренение. Масса восьмидневных проростков повышается на 17–28 %, длина корней — на 26–50 %, число вторичных корешков на главном корне увеличивается на 15–26 %. У взрослых растений перед уборкой масса корней превышала контроль на 22–33 %. Растения, выращенные из обработанных семян, лучше противостоят фитопатогенам. Поражение корневыми гнилями снижалось в период бутонизации в два раза, а в фазу технической спелости — на 22 %. Перечисленные факторы являются основой повышения массы и качества урожая. Несмотря на неблагоприятные метеорологические условия 1999–2000 годов масса урожая обоих сортов гороха повысилась в среднем на 20 %. При этом вынос радиоактивного цезия из почвы понизился в среднем на 24 %.

Еще более эффективно применение фиторегуляторов нового поколения на культурах закрытого грунта. В качестве примера приводим данные Лаборатории экофизиологии растений Института биологии Карельского научного центра РАН (г. Петрозаводск). Показано, что препарат этихол на культуре огурца в весенних пленочных теплицах увеличивает ранний урожай на 42 %, а общий урожай на 27 %. Это происходит за счет: а) феминизации растений (количество женских цветков возрастает в три раза), б) повышения уровня фотосинтеза, в) стресспротекторного эффекта препарата, что позволяет сохранить максимум фотосинтеза при пониженных температурах. Последнее, в свою очередь, дает возможность экономить до 20 % электроэнергии на освещение и обогрев теплиц. Работа выполнена к. б. н. Л. В. Тимейко под руководством профессора С. Н. Дроздова (2001–2003 гг.).

Предпосевная обработка семян томата растворами препарата этихол с последующим опрыскиванием растений тем же раствором эффективно содействует развитию корневой системы. Масса корней пятидневной рассады в опыте была на 39 % выше контроля и превосходила результат, полученный с помощью эталонных ауксинов. Выра-

шенная рассада имеет 100 %-ную приживаемость при пересадке в грунт и обеспечивает прирост урожая томатов на 40–60 % в сравнении с контролем и на 12–33 % выше, чем при применении хлорохлинхлорида, имеющего только ретардантную активность. Опыт поставлен в 1998 году в Орловском районе Орловской области на базе Орловского НИИСХ по стандартной методике, принятой для этой зоны (заслуженный агроном РФ М. Ф. Галаева). Метеорологические показатели сезона были благоприятными для выращивания томатов. Повышенная среднесуточная температура в мае, июне и июле и достаточное увлажнение при искусственном поливе в мае и июне и при обильных дождях, выпавших в июле, способствовали быстрому и мощному развитию растений.

## Производство и безопасность

Бензихол и этихол прошли эколого-токсикологические испытания с определением значений ОБУВ (относительно безопасные уровни воздействия) и полностью соответствуют требованиям Госхимкомиссии МСХП РФ, предъявляемым к регуляторам роста и развития растений. Они малотоксичны для тепличных культур, не сохраняются в семенах и плодах, не имеют мутагенной активности, не действуют на полезную энтомофауну, в том числе на медоносных пчел, не влияют на состав почвенной микрофлоры, деградируют в почве за срок менее месяца, являясь для ее обитателей источником азота и углерода. Они имеют среднюю и малую токсичность для флоры и фауны рыбохозяйственных водоемов. Все испытания выполнены в научно-исследовательских организациях, имеющих лицензии Госхимкомиссии МСХП РФ на проведение подобных исследований. Для обоих препаратов разработаны способы и опытные технологии получения. Они проверены в условиях опытного цеха НПО при наработке препаратов для проведения производственных испытаний. Простота разработанных технологий и наличие широкой сырьевой базы делают бензихол и этихол одними из самых доступных стресспротекторов и фиторегуляторов.

На 2003 год в списке Госхимкомиссии МСХП РФ имеется 62 разрешенных к применению рострегуляторов. Однако статистики их производства и применения на практике мы не нашли. Очевидно, что промышленное производство и промышленное применение этой группы препаратов в растениеводстве России отсутствует. ■

*Продолжение следует.*