

Гонка вооружений

По серьезности последствий для мирового сельского хозяйства развитие устойчивости к пестицидам стоит на третьем месте после эрозии почв и загрязнения водных ресурсов. Почему возникает резистентность, как она распространяется и можно ли сыграть на опережение?

В сельском хозяйстве давно идет тихое, но упорное противостояние. Человек создает все новые химические молекулы и новые сорта растений, а природа быстро дает ответный залп: вредные объекты адаптируются к новым действующим веществам, фитопатогены учатся побеждать иммунитет, а устойчивые сорта внезапно становятся уязвимыми. Это и есть резистентность – невидимый фактор, который может свести на нет годы селекционной работы и тонны наработанных препаратов.

Если продолжить метафору, растениеводство все больше напоминает театр военных действий, где ни одна из сторон не может позволить себе перемирие. Каждый новый инсектицид или фунгицид – это своего рода новое оружие. Новый гибрид с новым типом устойчивости – словно усиленная броня, а агротехнические приемы – тактические маневры на поле боя.

Но у этой войны есть своя специфика. Вредители и патогены ведут асимметричную войну: у них нет военных заводов и лабораторий, зато есть колоссальная скорость размножения и мутаций. Агроном, в ответ, вынужден строить многоуровневую систему обороны. Побеждает тот, кто умеет мыслить на несколько ходов вперед, сохраняя ресурсы и не давая противнику времени на адаптацию.

Как развивается устойчивость?

Устойчивость к гербицидам возникает в популяции естественным образом. После применения гербицида выжившие растения передают это генетическое преимущество своим потомкам, пока устойчивые растения, наконец, не начинают доми-

нировать в популяции, что затрудняет дальнейшую борьбу.

Часто в развитии устойчивости действует комбинация факторов. Многократное использование гербицидов с одним и тем же механизмом действия в течение севооборота будет способствовать развитию устойчивости. Неэффективное внедрение севооборотов, монокультура и игнорирование случаев плохого контроля сорняков также повысят вероятность развития устойчивости.

Устойчивость к пестицидам имеет далеко идущие последствия, включая рост производственных затрат, недобор урожая, ухудшение товарных качеств продукции и рост пестицидной нагрузки на гектар.

Что говорит наука?

Ученые определяют устойчивость как снижение реакции популяции организмов на действие пестицида или тактику борьбы в результате предыдущего воздействия пестицида. Устойчивость, по сути, является «ускоренной эволюцией», когда популяция вредных объектов реагирует на интенсивное селективное давление. Например, непрерывное использование одного и того же инсектицида/фунгицида/гербицида дает развитие устойчивости за относительно короткий промежуток времени. При широком распространении определенного пестицида или класса пестицидов многие сель-





скохозяйственные вредители, патогены и сорняки вырабатывают различные стратегии выживания.

Бактерии-симбионты

Работы ученых из США и Китая свидетельствуют о том, что видовой состав микроорганизмов в кишечнике вредителей играет важную роль в развитии их устойчивости к действию пестицидов. В особенности это характерно для популяций тли и некоторых видов совок. Если раньше считалось, что вредители выживают благодаря своим мутациям, сегодня мы знаем, что в кишечнике насекомых обитают специальные бактерии-симбионты, которые разлагают различные химические вещества, в том числе пестициды, на менее активные компоненты. Когда насекомое подвергается воздействию пестицидов, эти бактерии используют свои ферменты для их гидролиза, в результате чего пестициды разлагаются на неактивные компоненты и теряют свою токсичность еще до того, как успевают оказать воздействие на кишечник или нервную систему вредителя. При создании новых препаратов усилия ученых должны быть направлены на подавление такой микрофлоры или использование действующих веществ, которые не участвуют в кишечном метаболизме насекомых.

Резистентность – словно напоминание о том, что в этой войне невозможна окончательная капитуляция одной из сторон. Однако грамотное командование вполне способно удерживать контроль над ситуацией и не проигрывать ключевые сражения за урожай.

Базы данных

Проблема устойчивости к пестицидам возникла не сегодня. Устойчивые к гербицидам сорняки были обнаружены в 75 странах мира на сотне культур. В результате многолетней совместной работы ученых из 80 стран мира создана т.н. Международная база данных сорняков, устойчивых к гербицидам (The International Survey of Herbicide Resistant Weeds). По состоянию на январь 2026 г., в базе данных HRAC зарегистрировано 539 уникальных случаев (вид x место действия) сорняков, устойчивых к гербицидам (156 двудольных и 117 однодольных). Указанные сорняки выработали устойчивость к 21 из 31 известных меха-

низмов действия гербицидов (MoA) и к 168 различным гербицидам.

Устойчивость к гербицидам у широколистных сорняков встречается относительно редко по сравнению с устойчивостью злаковых сорняков, таких как мятлик или райграсс, но ее распространенность растет. В 2000 году устойчивость к гербицидам, ингибирующим ацетолактатсинтазу (ALS), была впервые выявлена на маке, звездчатке и ромашке в Эстонии и Польше.

Вести с полей

В Европе устойчивость к ALS-гербицидам у мака (*Papaver rhoeas*) уже фиксировалась и ранее, и особенно хорошо описана для Великобритании с начала 2000-х годов. Это один из старейших примеров устойчивости этого вида именно к ALS-гербицидам на европейском континенте. Устойчивые к триазином популяции крестовника (*Senecio vulgaris*) также были обнаружены на спаржевых полях в Великобритании, но до настоящего времени устойчивость крестовника к ALS-гербицидам не выявлена.

Одним из широко известных примеров устойчивости к гербицидам стала кохия (*Bassia scoparia* (L.) AJ Scott), семена которой переносятся ветром, что делает ее серьезной проблемой в сельскохозяйственных районах Северной Америки и на Западе Канады. Ее распространению способствуют высокая устойчивость к глифосату и потепление климата.

Другим примером высокой устойчивости стал лисохвост мышехвостниковидный (*Alopecurus myosuroides*) в посевах озимой пшеницы в Великобритании.

Еще один агрессивный сорняк – это амарант Палмера, который отличается быстрым ростом, высокой урожайностью семян и широкой устойчивостью к глифосату в посевах хлопчатника.

В США при широком и неуклонном использовании в севооборотах кукурузы и сои фермеры наблюдают феномен устойчивости на примере западного кукурузного жука (*Diabrotica virgifera* Le Conte) (карантинный объект для России).

Экономический ущерб

Ученые из Шеффилдского университета, Великобритания, и природоохранной организации «Зоологическое общество Лондона» (ZSL) впервые оценили экономический масштаб бедствия, вызываемого устойчивым лисохвостом (*Alopecurus myosuroides*). Так, контроль лисохвоста, считающегося самым экономически значимым сорняком в Западной Европе, обходится экономике Великобритании в £ 400 млн ежегодно и ставит под угрозу не только благополучие фермеров, но и продовольственную безопасность целой страны.

По данным проф. Р. Фреклтона (Robert Freckleton), из-за устойчивого лисохвоста Великобритания ежегодно теряет около 820 тыс. т урожая пшеницы, что составляет примерно 5% внутреннего потребления пшеницы в Соединенном Королевстве.

В Западной Канаде стоимость контроля устойчивых сорняков и связанные с этим потери урожая в Зерновом поясе обходятся фермерам примерно в CA\$ 500 млн в год.

Управление резистентностью

Ключевая рекомендация по управлению резистентностью заключается в том, чтобы не использовать повторно пестициды с одинаковым механизмом действия. Даже если вы используете разные действующие вещества, повторное использование пестицидов с одинаковым механизмом действия может привести к отбору вредителей, способных преодолеть действие этой группы пестицидов.

В настоящее время борьба с сорняками, устойчивыми к гербицидам, ингибирующим ацетолактатсинтазу (ALS), зависит от постоянной доступности гербицидов с альтернативными механизмами действия, таких как флуроксипир, МСРА, галаксифен и пендиметалин. Однако всегда существует риск утраты ключевых активных ингредиентов по мере того, как продукты требуют продления регистрации, что затрудняет борьбу с устойчивыми популяциями и усиливает давление на существующие молекулы.

РНК-интерференция

Одна из самых горячих тем в исследованиях 2024 года – создание высокоспецифичных инсектицидов нового поколения методом РНК-интерференции или подавление экспрессии генов малыми РНК. Вместо химобработок ученые предлагают использовать молекулы РНК, которые «выключают» жизненно важные гены вредителя. Главные достоинства данного подхода заключаются в специфичности действия и использовании естественного механизма, лежащего в основе противовирусной защиты клетки. В 2023–2024 годах были успешно протестированы первые коммерческие разработки «РНК-инсектицидов», что может стать альтернативой применения традиционных пестицидов в ближайшие 5–10 лет.

На российских просторах

Относительно невысокая интенсивность применения химических средств защиты растений на российских полях долгое время позволяла не обращать внимания на проблему устойчивости вредных объектов к действию пестицидов. Однако долгосрочные исследования показывают, что и в России зафиксированы случаи групповой, перекрестной и множественной устойчивости к применяемым ХСЗР, что усложняет контроль и снижает эффективность стандартных химических обработок.

Особенно хорошо случаи устойчивости документированы на примере колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata*). Так, в 2000 году одно-

кратная обработка посадок картофеля неоникотиноидами в период вегетации имела эффективность около 100%. По прошествии 20 лет даже после трехкратных обработок тиаметоксамом и имидаклопридом на кустах картофеля оставались активными как имаго вредителя, так и личинки различных возрастов. Причины такого бедствия, считают ученые, – интенсивное применение одних и тех же химикатов и занос генотипов вредителя из других регионов.

Устойчивость к гербицидам существует как минимум с 50-х годов XX века. Однако проблема борьбы с сорняками сегодня требует коллективных действий: как минимум со стороны регулятора, агрохимических компаний и самих аграриев.

Заключение

Низкая эффективность контроля сорняков не всегда связана с устойчивостью. Несоблюдение норм внесения препарата, отклонения от оптимальных сроков обработки, переросшие сорняки или применение гербицидов в очень холодных или сухих условиях, усиление воскового налета на листьях после длительных периодов холода также влияют на эффективность гербицида. Это особенно актуально для гербицидов, чей механизм действия связан с ингибированием ALS, которая препятствует биосинтезу белка и требует активного роста целевого сорняка для достижения максимальной эффективности.

Развитие резистентности сорной растительности и вредителей к действию пестицидов – классический пример того, как технологическое превосходство одной стороны запускает ответную адаптацию другой. В контексте «гонки вооружений» это наглядно показывает: побеждает не самое мощное оружие, а грамотная стратегия, основанная на ротации механизмов действия, снижении селективного давления и управлении эволюционными процессами в агроценозе.

Ирэн Зайцева

