

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

**ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный
университет»**

**В. В. Котляров, Ю. П. Федулов,
К. А. Доценко, Д. В. Котляров, Е. К. Яблонская**

**ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
ВЕЩЕСТВ
В АГРОТЕХНОЛОГИЯХ**

Учебное пособие для подготовки магистров

Краснодар

2014

УДК 631.8 (075.8)

ББК 44

П75

Применение физиологически активных веществ в агротехнологиях / В. В. Котляров, Ю. П. Федулов, К. А. Доценко, Д. В. Котляров, Е. К. Яблонская.- Краснодар: КубГАУ, 2014.- 169 с.

ISBN 978-5-94672-582-8

Учебное пособие предназначено для подготовки магистров агрономических специальностей. В нем подробно раскрыто значение и необходимость применения физиологически активных веществ в агротехнологиях.

УДК 631.8 (075.8)

ББК 44

© Котляров В. В., Федулов Ю. П.,
Доценко К. А., Котляров Д. В.,
Яблонская Е. К.

© ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет»

ISBN 978-5-94672-582-8

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ФИТОГОРМОНЫ	7
2. РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ	34
Иммуностимуляторы	40
Гуматы	43
Ретарданты	45
ЛЕТОЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ	
В АГРОТЕХНОЛОГИЯХ	49
Органические кислоты	49
Аминокислоты	52
4. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕПАРАТЫ	66
В АГРОТЕХНОЛОГИЯХ	
Препараты на основе псевдомонад	66
Препараты на основе бактерий из рода <i>Bacillus</i>	67
Биоагенты бактериальной природы, находящиеся в стадии изучения	68
Микробиологические препараты на основе почвенных микроорганизмов-антагонистов	70
Другие бактериальные препараты – антагонисты	77
Препараты на основе грибов рода <i>Trichoderma</i>	80
Препараты на основе энтомопатогенных микроорга- низмов	82
Условия для внесения микробиологических препаратов	85
5. ПЕСТИЦИДЫ	92
Гербициды	93
Бактерициды	104
Особенности применения антибиотиков для защиты растений от бактериозов	106
Характеристика химических бактерицидов	120
фунгициды	132
десиканты	141
дефолианты	145
адьюванты	148
6. ФЕРОМОНЫ	153
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	168

ВВЕДЕНИЕ

Изучение физиологически активных веществ в агротехнологиях в магистерской подготовке нужно для более углублённого изучения всех необходимых в защите растений физиологически активных веществ. При этом учитывается, что такие средства защиты растений от вредных организмов как фунгициды, гербициды и инсектициды подробно рассматриваются в соответствующих дисциплинах (химическая защита растений, интегрированная защита растений, сельскохозяйственная фитопатология, сельскохозяйственная энтомология). В учебных программах вузов незаслуженно обойдены вниманием такие важные вещества как фитогормоны, регуляторы роста и развития растений, индукторы иммунитета, фенолы-ингибиторы, антибиотики, широко применяемые в сельскохозяйственном производстве. В этой связи и сложились основные направления дисциплины: 1) фитогормоны и механизм их действия; 2) регуляторы роста и развития растений, индукторы иммунитета, фенолы-ингибиторы, ретарданты; 3) клеточные метаболиты: аминокислоты и органические кислоты; 4) биологические препараты для защиты растений от болезней и улучшения плодородия почвы; 5) пестициды: гербициды, дефолианты и десиканты, адьюванты, бактерициды (антибиотики и химические бактерициды), фунгициды; 6) феромоны. Следует отметить, что рассмотрение таких средств защиты растений как гербициды связано с тем, что эти вещества являются для растений физиологически активными. Некоторые из них - фитогормоны или их синтетические аналоги, другие являются ингибиторами различных ферментов.

Повсеместное применение различных физиологически активных веществ в сельскохозяйственном производстве было начато ещё в XX веке, а в настоящий период без них не обходится ни одна современная агротехнология. Этому спо-

собствуют фундаментальные открытия молекулярных основ гормональной регуляции роста и развития растений, раскрытие различных биохимических процессов синтеза различных веществ и их управления в организме, установление механизмов действия многих физиологически активных веществ. Использование таких веществ обеспечивает повышение продуктивности агробиоценозов, снижает пестицидную нагрузку на них, уменьшает энергозатраты и повышает рентабельность сельскохозяйственного производства. Индукция иммунитета растений к вредным организмам с помощью биологически активных веществ, обладающих элиситорным (сигнальным) действием, наиболее перспективный современный метод защиты растений. Эти вещества повышают иммунитет растений к болезням, устойчивость к ряду неблагоприятных факторов среды (засухе, высокой и низкой температуре, засолению почв), улучшают завязываемость семян и плодов, а также их качество, обеспечивают укоренение черенков, предотвращают полегание растений и стекание зерна, облегчают механизированную уборку урожая, не оказывают отрицательного влияния на плодородие почвы. Их применение позволяют уменьшить кратность обработки посевов фунгицидами или снизить норму расхода препаратов на 25-50% и даже полностью исключить этот вид работ. Они мало токсичны для животных и растений, а также полезной микрофлоры, эффективны в очень низких концентрациях (до 10^{-6} - 10^{-9} моль/л). По данным О.А. Шаповал (2009) нашей стране в агротехнологиях наиболее распространены гуминовые препараты, которые внедрены на площади 5 млн. га, хорошо зарекомендовала обработка растений янтарной кислотой. Благодаря исследованиям, проведённым в Кубанском госагроуниверситете В.В. Котляровым (2012), начато использование препаратов на основе аминокислот для снятия стрессов, снижения пато-

генности ряда возбудителей болезней и даже в качестве альтернативы гербицидам.

Необходимой частью органического земледелия являются микробиологические препараты, которые продуцируют антибиотические вещества и за счёт антагонизма вытесняют патогенную микрофлору из растений. Кроме того, они повышают плодородие почв, резко снижают остаточное количество пестицидов в растениеводческой продукции, способствуют утилизации растительных остатков, вытеснению патогенной микрофлоры почвы, обогащению её гумусом и улучшению аэрации. Некоторые из них (энтомопатогенные грибы и бактерии) способны практически полностью заменить инсектициды.

Значение гербицидов в сельскохозяйственном производстве трудно переоценить, а сегодня они являются неотъемлемым звеном агротехнологий.

Использование десикантов и дефолиантов обеспечивает не только улучшение условий и сроков уборочных работ, но и сохранность высокого качества растениеводческой продукции.

Адьюванты необходимы для улучшения действия агрохимикатов, снижения доз их внесения.

Бактерициды обеспечивают защиту растений от фитопатогенных бактерий, что особенно значимо на современном этапе. В тоже время в учебных программах вузов они (особенно антибиотики) не заслуженно обойдены вниманием.

Фунгициды играют важную роль для подавления патогенных грибов, они имеют различную химическую природу, дифференцированы по механизму действия.

Феромоны - это наиболее тонкое и безопасное средство контроля за численностью насекомых-вредителей. Они позволяют с минимальными воздействиями на полезную энтомофауну устранять вредоносных насекомых из агробиоценозов.

2. ФИТОГОРМОНЫ

Фитогормоны - это вещества, образующиеся в процессе обмена веществ и необходимые в очень малых количествах для запуска и регуляции физиологических и морфогенетических программ растений. Они являются природными регуляторами роста и развития растений. Эти вещества образуются в определённых тканях растений и транспортируются в другие органы и ткани, оказывая на них влияние. Основные физиологические процессы, такие как рост, развитие, формирование и адаптация факторам среды, регулируются фитогормонами.

Характерной особенностью фитогормонов, отличающей их от других физиологически активных веществ (витаминов, микроэлементов), является то, что они переключают физиологические и морфогенетические программы. Согласно современной классификации **фитогормоны – это биологические регуляторы роста и развития растений, осуществляющие взаимодействие клеток, тканей и органов, стимулирующие и ингибирующие морфогенетические и физиологические процессы в растительных организмах.**

Активные формы фитогормонов действуют только на компетентные к этим фитогормонам клетки, то есть на клетки, в мембранах и цитоплазме которых присутствуют рецепторы специфические для этих фитогормонов. Взаимодействие фитогормона со своим рецептором запускает цепь реакций преобразования гормонального сигнала в функциональные ответы клетки. Эти ответы могут быть разными в зависимости от типа рецепторов, концентрации фитогормона и соотношения этой концентрации с уровнем других фитогормонов, а также от взаимосвязи рецептора с теми или другими молекулярными комплексами, участвующими в трансдукции гормонального сигнала.

Фитогормоны влияют на деление и рост клеток растяжением, состояние покоя, созревание, старение, формирование плода, устойчивость к стрессу, тропизмы, транспирацию; обеспечивают функциональную целостность растительного организма, закономерную последовательность фаз индивидуального развития.

Гормональная система тесно связана с генетическим аппаратом клетки. Фитогормоны не только влияют на степень метилирования ДНК и таким образом регулируют экспрессию генов, но и связываются с белками-репрессорами на опероне, что приводит к активации структурных генов и синтезу определённых ферментов. Следовательно, изменяя соотношение гормонов в питательных средах, можно в какой-то степени изменять и генетические программы клеток и тканей. Эти процессы известны как дедифференциация, редифференциация и дифференциация клеток и тканей.

В одной клетке может находиться несколько видов рецепторов одного и того же фитогормона, что обуславливает различные виды реакции растения на один и тот же фитогормон, т.е. полифункциональность его действия. Интенсивность реакции на фитогормон определяется не только его концентрацией, но и концентрацией рецептора гормона, так как полной физиологической активностью обладает их комплекс, а не отдельные компоненты. Это обуславливает различную чувствительность клеток к одному и тому же гормону. Как правило, клетки – продуценты данного фитогормона имеют малую чувствительность к нему, обусловленную низкой концентрацией рецепторов. Рецепторы фитогормонов в настоящее время изучены ещё недостаточно. Однако считают, что соответствующие органы (рецепторы) должны обладать опознавательной способностью в отношении фитогормонов. По-видимому, большая их часть представляет собой глобулярные белки, с очень высоким сродством к связывающим гормонам.

Гормональные эффекты реализуются путем конформационных изменений белковых молекул (варьирование формы и пространственной структуры), занимающих в клетке стратегически важное положение. Такие белки могут функционировать как рецепторы фитогормонов, преобразователи сигнала между рецептором и определённой ферментативной системой, а также как ферменты, активаторы или ингибиторы ферментов, компоненты мембранных транспортных систем. Эти эффекты во всех чувствительных клетках представляет собой цепь скоординированных изменений формы множества специфичных для данной клетки белков. При изменении условий внешней среды в растении происходят изменения в синтезе того или иного гормона, что может оказывать действие на обмен белков. Накоплено уже значительное количество экспериментальных данных, указывающих на участие фитогормонов в регуляции экспрессии генов в растительных клетках и влиянии их на синтез белка. Ключевые ферменты, действующие на развилках путей биосинтеза фитогормонов, проявляют высокую чувствительность к изменению факторов среды (освещённости, температуры и т.д.), что приводит к доминированию синтеза специфического фитогормона.

Образовавшаяся молекула фитогормона в дальнейшем транспортируется по растению от места своего синтеза к клеткам-мишеням, т.е. клеткам восприимчивым к данному фитогормону. Транспорт фитогормонов происходит по проводящей системе растения, с током пасоки и ассимилянтов, а также по межклеточному пространству. Молекулы фитогормонов способны проникать к клеткам-мишеням путём перемещения в соответствии с градиентом концентрации по плазмодесмам – мембранным каналам, связывающим протопласты соседних клеток, или в результате активного транспорта через пограничную мембрану клетки – плазмалемму.

При нарушении структуры рецепторного белка исчезает возможность рецептора связываться с гормоном. Неполные аналоги гормона осуществляют процесс частичного связывания с рецептором, что выражается в ослаблении гормонального эффекта. Эти и другие причины подтверждают многочисленные результаты исследований, в которых установлена разная реакция видов и сортов растений в отношении действия фиторегуляторов.

Существенное влияние на сортовую восприимчивость к действию регуляторов роста оказывают факторы внешней среды. Фитогормональная регуляция экспрессии генов обуславливает такие важнейшие процессы в жизни растительной клетки, как дифференцировка и дедифференцировка, деление, рост и адаптация к новым условиям.

Одним из наиболее вероятных путей влияния фитогормонов на репрессию и дерепрессию генов является метилирование ДНК, вызывающее усиление или ослабление экспрессии соответствующих генов или полное прекращение их функционирования на том или другом этапе органогенеза. Количество присоединившихся или освободившихся метильных групп, места их локализации в боковых ветвях структур нуклеотидных последовательностей ДНК оказывают при этом существенное влияние на функциональную активность генов, в состав которых входят указанные структуры.

Известно, что биосинтез стимуляторов и ингибиторов, их инактивация и функционирование контролируются ядром. Генетически регулируемые уровни эндогенных фитогормонов и их антагонистов лежат в основе всех корреляций в организме. В результате ростовые центры переключаются с одной системы органов на другую. Возрастные изменения в развитии растений сопровождаются существенными сдвигами в гормональном статусе растений, что является одновременно и причиной, и следствием последних. Спектры

действия различных фитогормонов значительно перекрываются, что свидетельствует об относительности их специализации.

Таким образом, гормональная регуляция, детерминируемая генотипом, оказывает на него существенное влияние и вместе с генетической регуляцией составляет основу генного контроля при реализации наследственной программы растений. Усиливая или ослабляя рост, развитие и другие процессы, эти системы во взаимодействии с экологическими и другими факторами среды определяют тип морфогенеза, структуру, продуктивность и адаптацию растений.

При оценке на устойчивость растений к стрессовым факторам следует предполагать активное функционирование системы эндогенных регуляторов – стимуляторов роста цитокининового типа и ингибиторов роста типа абсцизовой кислоты.

Важно также определять реакцию проростков отбираемых линий на действие различных синтетических и природных стимуляторов и ингибиторов роста. В систему оценки целесообразно включать показатели содержания абсцизовой и индолилуксусной кислот в тканях проростков, скорость смены стимуляторной активности на ингибиторную активность, соотношение стимуляторов и ингибиторов роста в корнях и побегах.

Фитогормоны разнообразны как по химическому составу, строению, так и по характеру действия. Действие фитогормонов на растение поливалентно. По химической природе гормоны растений подразделяются на две группы: производные мевалоновой кислоты (гиббереллины, абсцизины, брассины, фузизокцин, цитокинины) и производные аминокислот (ауксины – из триптофана, этилен – из метионина или аланина).

Биосинтез фитогормонов происходит в определённых частях растений: в апексах побегов образуется ИУК – индо-

лил-3-уксусная кислота, лист служит донором ключевого продукта синтеза гиббереллинов – каурена, а также абсцизовой кислоты, в апексах корней синтезируется кинетин, а в зоне растяжения корня – гиббереллины, источником зеатина является эндосперм прорастающих семян.

По функциональному действию различают 5 основных групп фитогормонов – ауксины, гиббереллины, цитокинины, абсцизовая кислота, этилен. Они подразделены на – фитогормоны-стимуляторы (ауксины, гиббереллины, цитокинины и открытые сравнительно недавно – brassinosteroids или brassины, жасминовая и салициловая кислоты) и ингибиторы (абсцизовая кислота, этилен и фенольные ингибиторы).

Ауксины – являются веществами индольной природы (рис.1).

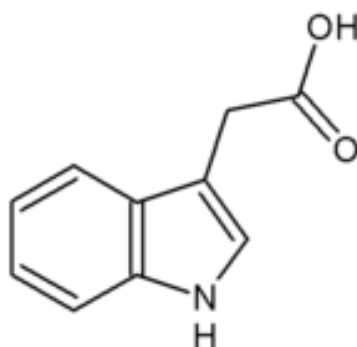


Рисунок 1 – Структурная формула индолил-3-уксусной кислоты (гетероауксина)

Основным фитогормоном типа ауксина является индолилуксусная кислота (ИУК). Их открытие связано с исследованиями Ч. Дарвина (1860). Который установил, что, если осветить проросток злака с одной стороны, он изгибается к свету. Но если верхушку проростка лишить света экранированием и после этого создать условия одностороннего освещения, то изгиба не происходит. Таким образом, было установлено, что органом, воспринимающим одностороннее

освещение, является верхушка растения, тогда как сам изгиб происходит в нижней части проростка, а в его верхушке под влиянием одностороннего освещения вырабатывается вещество, которое передвигается вниз и вызывает изгиб. Эти выводы Ч. Дарвина получили продолжение лишь через 50 лет в работах датского учёного П. Бойсен-Йенсена, который показал, что при удалении верхушки проростка (декапитация) резко замедляет рост нижележащих клеток, находящихся в фазе растяжения. Причём, если обратно наложить верхушки проростка через слой желатина или агар-агара, то рост нижележащих клеток возобновляется. Позже выявлено, что если агаровый блок, на котором в течение некоторого времени была помещена верхушка колеоптиля, наложить на обезглавленный колеоптиль асимметрично, то происходит изгиб, причем более интенсивно растёт та сторона, на которую наложен блок. Все эти опыты показали, что в верхушке проростков вырабатывается особое вещество, которое, передвигаясь к нижележащим клеткам, регулирует их рост в фазе растяжения. Так как это вещество вырабатывается в одной части растения, а в другой вызывает физиологический эффект, оно было отнесено к гормонам роста растения – фитогормонам. Исследования, проведенные отечественным учёным Н.Г. Холодным, показали, что рост разнообразных видов растений, а также различных органов одного и того же растения регулируется определённым фитогормоном – ауксином. Оказалось, что фитогормоны типа ауксина – ИУК и некоторые близкие к нему соединения – широко распространены в растениях. Наибольшая их концентрация – растущие части растительного организма: верхушки стебля, молодые растущие части листьев, почки, завязи, прорастающие семена, а также пыльца. Синтез этих фитогормонов преимущественно осуществляется в меристематических тканях. Ауксины передвигаются от верхушки побега вниз к его основанию, а затем от основания корня

к его окончанию, т.е. полярно. Их полярный транспорт идёт с затратами энергии по флоэме со скоростью, значительно превышающей скорость обычной диффузии (5-10 мм/час). Именно поэтому при недостатке кислорода или торможении процесса дыхания различными ингибиторами передвижение ауксинов приостанавливается. У взрослых растений, при высокой концентрации ауксина, может наблюдаться и неполярный их транспорт вверх по растению с восходящим током воды по ксилеме.

Образование ИУК осуществляется из аминокислоты триптофана, а он синтезируется из шикимовой кислоты. Но выявлен и триптофан-независимый синтез ауксина. Установлено, что ИУК может синтезироваться из индола и индолглицерофосфата. Содержание ИУК связано не только со скоростью его образования, но и от активности его распада. Основным ферментом, обеспечивающим распад ИУК, является ИУК-оксидаза. Наряду с ферментативным окислением ИУК большое значение имеет её фотоокисление, особенно ультрафиолетовыми лучами с длиной волны около 280 нм. Кроме того, распад ИУК может происходить за счёт декарбоксилирования. Установлено наличие в клетках конъюгированного, т.е. связанного ауксина, который, как правило, неактивен. В растительных клетках этот гормон содержится в цитозоле и хлоропластах. Основными факторами, влияющими на содержание ауксина в растительных клетках являются: триптофан-зависимый синтез ауксина, триптофан-независимый синтез ауксина, транспорт, окисление и декарбоксилирование, конъюгация. На образование ИУК значительное влияние оказывают внешние условия (снабжение растения азотом, обеспечение водой, степень освещения, эпифитная микрофлора). За счёт изменения содержания фитогормонов осуществляется первоначальное влияние условий внешней среды на процессы обмена веществ и рост. В процессе онтогенеза растительного организма содержание

ауксинов изменяется. Так, в листьях максимум содержания ауксинов наступает в фазе цветения растений. Распускающиеся почки, прорастающие семена содержат большое количество ауксина. Однако, по данным В.И. Кефели, в период прекращения процессов роста (период покоя), содержание ауксинов падает. Между содержанием ауксинов и скоростью роста клеток существует прямо пропорциональная зависимость. Регуляция образования и распада ИУК – это один из способов регуляции её содержания, а следовательно, и процессов роста. Для проявления активности фитогормонов необходимо образование комплекса с белком-рецептором (гормон-рецепторный комплекс). Этот растворимый ауксинсвязывающий белок уже обнаружен, он является рецептором и активен в эндоплазматическом ретикулуме и на поверхности клеток.

Ауксины активируют рост отрезков стеблей, листьев и корней, а также стимулируют образование корней у черенков растений. Благодаря их обнаружению в растениях удалось установить внутренние причины ряда ростовых процессов. Продуцированные растущими верхушками (апексами) стеблей и корней, они перемещаются из апексов в зону удлинения клеток, где и влияют на процесс растяжения. В нормальном состоянии в проростке и корнях содержится насыщенная доза ауксинов. Если искусственно создать избыточную концентрацию ауксина, то рост растения прекращается. Кроме действия на рост растягивающих клеток, ауксин способен вызывать клеточное деление, а также обеспечивает коррелятивное взаимодействие между органами растущего растения.

Среди других свойств ауксина следует отметить его способность вызывать ряд морфогенетических эффектов: партенокарпию у плодов (томата, огурца, инжира), задерживать опадение листьев и завязей, активировать корнеобразование. Сходными свойствами обладают и синтетические ана-

логи ауксина: индолилмасляная кислота (ИМК), α -нафтилуксусная кислота (НУК), 2,4-дихлорфеноксид-уксусная кислота (2,4-Д), а так же природные фенольные соединения, стимулирующие рост растений. Высокая концентрация ИУК в пыльце способствует увеличению размеров плодов (чем больше пыльцы попадает на рыльце цветка, тем крупнее плод).

Одним из основных эффектов ауксинов – явление гео- и фототропизма, которые возникают в результате несимметричного распределения ауксинов в организме.

Ауксины и другие фитогормоны играют существенную роль в синтетической деятельности клеток и являются одним из необходимых условий процесса образования и самовозобновления цитоплазмы. Образующиеся в растениях ауксины – существенное звено регуляции передвижения пластических веществ в растительном организме. Клетки и ткани становятся центрами притяжения воды и питательных веществ, что провоцирует усиление роста клеток и тканей. То есть ауксины являются регуляторами передвижения и распределения разных веществ в растительном организме, регулируя полярность в тканях и органах растений. Они являются важными факторами синтетических превращений, ведущих к перестройке исходных питательных веществ в структурные элементы клеток. В связи с усилением общего обмена под действием стимуляторов роста часто происходит такое перераспределение веществ, при котором расходуются обычно не используемые ранее ресурсы питательных веществ растения.

Ауксины действуют на рост двухфазно в зависимости от концентрации: при низких дозах ускоряют рост, а при более высоких тормозят его, т.е. отдельные растительные органы реагируют на действие ауксинов стимуляцией или торможением роста. Кроме того, считают, что ИУК способна ускорять ростовые процессы лишь в тех случаях, пока она на-

ходится в свободном состоянии. При инкубации отрезков колеоптилей пшеницы и тканей других растений с раствором ИУК возникает комплекс ИУК-глюкоза, в котором ИУК соединена с сахаром эфирной связью. Этот продукт можно рассматривать как связанную форму ИУК, выполняющую запасные функции в растении. К другим связанным формам ИУК можно отнести индолилацетаспарагиновую кислоту, глюкобрассицин, неоглюкобрассицин, комплексы ИУК с белком, дейтероауксин.

Физиологические функции связанных индолов до конца не ясны. Эти соединения могут играть роль резерва свободных ауксинов, используемых для поддержания ростовых процессов на определённом уровне. Им приписывают также свойства природных детоксикантов, выводящих избыток ИУК из общего метаболизма растений. В процессе превращения триптофана в ИУК связанных форм индолов образуется в 10 раз больше, чем свободных. ИУК, введённая в растительные ткани, претерпевает быстрые превращения, сопровождающиеся исчезновением её биологической активности. Вместе с тем, индуцированные ИУК, ростовые и формообразовательные процессы, осуществляются через значительный промежуток времени после её превращения в неактивные формы.

Синтез нуклеиновых кислот и белка также регулируется фитогормонами. На первом этапе роста растягивающейся стенки повышается содержание доступной РНК, которая связывает ионы кальция, обычно цементирующие пектиновые вещества клеточных стенок. Под действием ауксинов разрушаются соли кальция (пектаты), вследствие чего размягчаются клеточные стенки, повышается их пластичность, в них появляются большие промежутки. Второй этап роста, связанный с растяжением клеточных стенок, заключается в синтезе новых материалов и в повышении содержания целлюлозы и гемицеллюлозы, а также новых порций пектинов.

Третий этап – осмотическое поглощение воды, поддерживающее набухание, которое действует на клеточную стенку.

Первые этапы действия ауксинов сопровождаются синтезом новых порций ферментов, катализирующих ряд метаболических реакций, которые протекают в растягивающихся стенках и набухающей цитоплазме. Без синтеза белков-ферментов реализация действия ауксина невозможна.

Предполагается, что ауксины активируют специфический тип м-РНК (РНК посредник); это ведёт к образованию ферментов, участвующих в синтезе материала клеточных стенок. Изменение ионного равновесия в мембранах клеточных органелл служит пусковым механизмом для синтеза м-РНК.

Действие синтетических аналогов ауксинов, в том числе 2,4-Д, до сих пор остается неясным, предполагается, что эти регуляторы нарушают нормальный ауксиновый баланс в растении, разобщают окислительное фосфорилирование с дыханием, подавляют митотическую активность в меристемах растений. Однако механизмы регуляции роста стебля, цветения розеточных растений, нарушения покоя и зеленеения листьев были выявлены только после открытия гиббереллинов и цитокининов.

Гиббереллины представляют собой соединения, относящиеся к дитерпеноидам флуоренового ряда и очень сходны между собой по структуре. Впервые были открыты японским учёным Е. Куросава (1926) при исследовании болезни риса (чрезмерном его росте), вызываемой грибом *Gibberella fujikuroi* Sow. Его соотечественник Т. Ябута (1935) выделил Г. из этого гриба гиббереллин в кристаллическом виде и дал ему это название. Всего их известно 27, все они являются карбоновыми кислотами. Основной структурной единицей этих гормонов считается гиббереллин Г₉ (рис. 2/1), а остальные рассматриваются как его производные.

Они не устойчивы и быстро разрушаются в кислой или щелочной среде. Наибольшей биологической активностью

чаще обладает *гибберелловая кислота* (ГК₃), отличающаяся от ГК₉ наличием гидроксильных групп у углеродов (отмечены стрелками) и двойной связью (рис. 2/II). Они индуцируют и активируют рост стеблей растений, вызывают прорастание покоящихся семян и нарушают период покоя у растений, стимулируют цветение фотопериодически чувствительных растений, способствуют образованию партенокарпических плодов (у винограда, шиповника, вишни, яблони), стимулируют образование и лигнификацию вторичной ксилемы клеток (число лигнифицированных клеток возрастает с увеличением дозы гибберелловой кислоты).

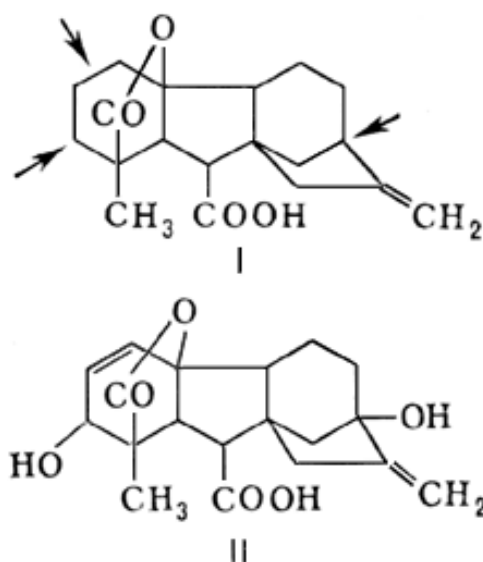


Рисунок 2 – Структура молекул гиббереллинов

У высших растений ими наиболее богаты быстрорастущие ткани; они содержатся в незрелых семенах и плодах, проростках, развёртывающихся семядолях и листьях.

Гиббереллины применяют в практике растениеводства для повышения выхода волокна конопли и льна, для увеличения размеров ягод у бессемянных сортов винограда, для повышения урожайности трав, стимуляции прорастания семян (обработка нарушает состояние покоя тканей и оказывает стратифицирующее действие на семена; при естественном выходе семян из состояния покоя содержание эндоген-

ных гиббереллинов повышается). Из-за вызываемого ими резкого ускорения роста зелёной массы растений, применение их должно сопровождаться усилением питания растений. Для ускоренного созревания томатов, черешни, яблок, а также для предотвращения полегания злаковых культур, используют обработки растений веществами, тормозящими действие гиббереллинов, например – этефон (способствует ускорению созревания томатов, черешни, яблони).

Их получают главным образом биотехнологически из продуктов жизнедеятельности грибов рода *Fusarium*.

Гиббереллины ускоряют деление клеток в зоне, непосредственно примыкающей к верхушке стебля, и рост в фазе растяжения, стимулируют рост (главным образом стеблей и черешков) сильнее ауксинов. При некоторых условиях они могут ускорять рост листьев, цветков и плодов, а также развитие растений, зависящее от температуры и фотопериода, а в определённых условиях – цветение и завязывание плодов. Свет способствует его образованию в растении. Отсутствие или избыток этого гормона определяют некоторые патологические симптомы — карликовость или чрезмерный рост.

Рост стебля под действием гиббереллина усиливается не вследствие увеличения междоузлий, а главным образом из-за усиления их роста. Подобно ауксинам, гиббереллин может стимулировать растяжение и деление клеток, однако для него характерно действие на клеточное деление в меристематической зоне. Митозы, возникшие под действием гиббереллинов, ориентируются вдоль главной оси, что в конечном итоге вызывает удлинение стебля. В растении ИУК и гибберелловая кислота взаимодействуют, стимулируя образование новой ксилемы. При росте стебля ИУК активирует транспорт гиббереллина к растущему апексу, а гиббереллин активирует базипетальный транспорт ИУК.

Возможный механизм прямого действия гиббереллинов на рост заключается в снятии репрессии со специфических

генов, что ведёт к индукции синтеза м-РНК, ферментов и выражается в возникновении новых мутационно-генетических образований. Это проявляется в индукторном действии гиббереллина на синтез α -амилазы в эндосперме. Гиббереллин индуцирует синтез некоторых протеиназ, β -амилазы.

Цитокинины – стимулируют клеточное деление и заметно повышают его скорость (цитокinesis), индуцируют заложение и рост стеблевых почек как у целых растений, так и у недифференцированных каллусов, а также продлевают жизнь и поддерживают нормальный обмен веществ у изолированных листьев, вызывают их вторичное позеленение.

Установлено, что зеатин, выделенный из молодых зёрен кукурузы, представляет собой производное аденина – 6-(4-окси-3-метил-транс-2-бутениламино)пурин.

Цитокинины содержатся в растениях в таких малых количествах, что их можно идентифицировать только при помощи метода масс-спектрометрии. Боковая цепь, присоединенная к аминогруппе при 6-м атоме пуринового кольца, имеет изопреноидную структуру и, подобно гиббереллинам, образуется из мевалоновой кислоты. Вещество, очень близкое к зеатину, – 6 (N,N-диметилаллиламино) пурин – было выделено в форме рибонуклеозида из сериновой и тирозиновой транспортных РНК дрожжей, гороха, шпината и печени телёнка; в обеих транспортных РНК это необычное основание непосредственно примыкает к антикодону. В пяти других, специально исследованных транспортных РНК, этого интересного основания не оказалось.

Их эффект впервые был открыт Фольком Скугом (1940) на кокосовом молоке. Классифицируют два типа этих гормонов: аденинового типа, представленные кинетином (рис. 3), зеатином и 6-бензиламинопурином и фенил-мочевинного типа, представленные дифенилмочевинной или тидиазуроном.

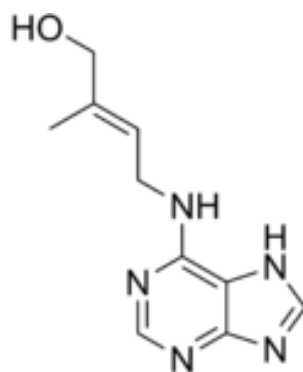


Рисунок 3 – Структура молекулы кинетина

Цитокинины аденинового типа синтезируются в основном в корнях, а также в стеблях и листьях. Камбий и другие активно делящиеся ткани растений также являются местом их синтеза. Не показано, что цитокинины типа фенилмочевинны естественно встречаются в тканях растений. Они участвуют в местной передаче сигнала, а также в передаче сигнала на расстоянии, причем последний механизм также используется для транспорта пуринов и нуклеозидов, регулируют деления клеток, морфогенез побега и корня, созревание хлоропластов, линейный рост клетки, образование добавочных почек и старение. Их соотношение с ауксинами является ключевым фактором деления клеток и дифференцировки тканей растения. Образование почек можно считать вариантом дифференцировки клеток и этот процесс является очень специфическим эффектом этих фитогормонов.

Биосинтез. Первую реакцию в биосинтезе изопреновых цитокининов катализирует фермент аденозинфосфатизопентилтрансфераза, он использует АТФ, АДФ или АМФ как субстрат, а идиметилалилдифосфат или гидроксиметилбутенилдифосфат как донор пренильной группы. Данная реакция является лимитирующей в биосинтезе цитокининов, субстраты – образуются в пентилэритрол-фосфатном биохимическом пути. У растений и эти гормоны могут образовываться из продуктов распада т-РНК. Эти РНК, с антикодоном, начинающимся с уридина и имеющие пренилиро-

ванные аденозины рядом с антикодоном, освобождают при деградации аденозины типа цитокининов. Пренилирование таких аденинов осуществляется т-РНК-изопентилтрансферазой. Их биосинтез регулируют ауксины.

Цитокинины не только стимулируют клеточное деление, но и могут изменять строение растительных клеток, выращиваемых в культуре. Если концентрация цитокинина в питательной среде мала (не более 10^{-9} М), образуются только рыхлые, непрочные ткани. При несколько более высоких концентрациях (от 10^{-8} до 10^{-7} М) на поверхности клеточной массы развиваются корешки, и, наконец, при ещё более высоких концентрациях (около 3×10^{-6} М) начинается образование побегов. Эта зависимость дифференцировки корней и побегов от концентрации цитокининов, продемонстрированная на тканевых культурах, позволяет предполагать, что цитокинины, возможно, выполняют сходную функцию и в интактном растении.

Пока не доказана связь действия цитокининов с какой-либо специфической биохимической реакцией; неизвестным остается также механизм стимуляции этими гормонами клеточного деления. Добавление цитокинина усиливает синтез ДНК в делящихся клетках.

Большую роль они играют и в мобилизации, притягивании питательных веществ к местам их локализации. Наиболее активное действие этих фитогормонов проявляется при их взаимодействии с другими, особенно с ауксинами. Цитокинины способны так же вызывать резкую активацию клеточного деления в культуре тканей. Они выполняют регуляторную функцию в растении, а один из их главных физиологических эффектов – способность индуцировать органо-генез в культуре тканей растений. Однако эта морфогенетическая особенность цитокининов зависит от уровня других фитогормонов.

Известно, что цитокинины повышают уровень РНК вдвое через 30 минут после обработки клеток корней лука и увеличивают количество ДНК в клетках корней табака. Это особенно чётко появляется на фоне действия ауксина. У изолированной сердцевинной ткани стебля табака в стерильной культуре одна ИУК несколько усиливала синтез ДНК, вызывала в отдельных клетках митозы, но не индуцировала клеточных делений. Точно так же один кинетин не вызывал деления клеток. В его присутствии не происходили митозы, а синтез ДНК он стимулировал в меньшей степени, чем ИУК. Только совместное действие ауксинов и кинетина значительно активировало синтез ДНК, вызывало митозы и индуцировало деление клеток в изолированной сердцевине стебля табака. Причём, оказывая воздействие на синтез нуклеиновых кислот растений, они включаются непосредственно в зону, близкую к антикодону молекулы т-РНК и играют важную роль в синтезе белка. Наиболее эффективно цитокинины стимулируют рост клеток в отрезках растущих листьев двудольных травянистых растений. Известно, что если заменить ИУК на 2,4-дихлор-феноксисукусную кислоту (2,4-Д), но в очень высокой концентрации, можно получить слабое деление клеток сердцевинного каллюса растения.

Цитокинины повышают устойчивость клеток к самым различным неблагоприятным воздействиям, таким как, температурный стресс, обезвоживание, грибная и вирусная инфекция, механическое воздействие и влияние различных химических агентов. Так, в опытах Мотеса и Энгельбрехт было показано, что кинетин (синтетический аналог цитокинина) повышает устойчивость к кратковременному нагреву клеток обработанной им половины срезанного листа табака и способствует последующему репарационному процессу. Это действие цитокининов Мотес ставит в прямую связь с их способностью повышать удерживание клетками подвиж-

ных метаболитов и приток к ним питательных веществ из окружающих тканей. Свойство клеток удерживать и притягивать подвижные метаболиты называют **аттрагирующей способностью** клеток. Причём, эта способность клеток листа резко снижается в результате нагрева, а цитокинин повышает её, что может быть одним из путей проявления его защитного действия по отношению к нагреву.

В культуре тканей фитогормоны, добавленные в различных пропорциях, регулируют синтез эндогенных гормонов растений, что проявляется в разнообразных морфогенетических реакциях клеток и тканей. Гормональная регуляция в культуре клеток и тканей, известна, как правило Скуга-Миллера (1955): **если концентрация ауксинов и цитокининов в питательной среде относительно равны или концентрация ауксинов незначительно превосходит концентрацию цитокининов, то образуется каллус; если концентрация ауксинов значительно превосходит концентрацию цитокининов, то формируются корни; если концентрация ауксинов значительно меньше концентрации цитокининов, то образуются почки и побеги.**

Наиболее распространенным среди цитокининов является кинетин (см. рис. 3). Он способен также активировать созревание протопластид и пластид, регулировать дифференциацию трахеид путем усиления синтеза лигнина. Кинетин, нанесённый на лист, притягивает к себе питательные вещества, т.е. наблюдается движение против градиента (активный транспорт). Это действие связано с его способностью задерживать пожелтение листьев, усиливать синтез белка, нуклеиновых кислот и других соединений (липидов, крахмала), а также вызывать перемещение продуктов из одной части листа в другую. Кинетин снимает тормозящее рост растений действие ИУК путём прямого влияния на дифференциацию сосудов ксилемы.

Фитогормоны способны изменять проницаемость клеточных мембран. Под действием ауксинов и гиббереллинов усиливается выброс протонов из клетки, что приводит к подкислению клеточной стенки и ослаблению связей между целлюлозными фибриллами в результате частичного кислотного гидролиза пектиновых веществ. Поэтому клеточная стенка становится более эластичной и под действием тургорного давления вакуоли клетка приобретает способность к растяжению. При индукции или активации синтеза ферментов, фитогормоны взаимодействуют друг с другом, усиливая или ослабляя функцию каждого из гормонов.

Таким образом, ростовые вещества экзогенного и эндогенного происхождения оказывают стимулирующее действие на поступление и передвижение пластических веществ по растению.

Этилен – ненасыщенный углеводород ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) продукт жизнедеятельности растительных тканей, активно подавляющий ряд метаболических и формообразовательных процессов, активируемых ауксинами. Этилен угнетает рост побегов в длину, способствует опадению листьев, ингибирует рост главного корня. Если ауксинов в растении слишком много, то начинается синтез этилена – фитогормона-ингибитора. Если обрабатывать растение естественными ауксинами (ИУК, ИПВК и др.), то оно быстро утилизирует их, окисляя или «отправляя в запас» избыток ауксинов. Синтез этилена в наибольшем количестве наблюдается там, где высока концентрация ИУК. Кроме того, большое количество как абсцизовой кислоты (АБК), так и этилена накапливается в любых органах, находящихся в состоянии стресса. Поэтому эти фитогормоны часто называют стрессовыми.

Образуется в тканях растений в незначительном количестве как промежуточный продукт обмена веществ. Содержится в различных органах высших растений (плодах, цветках, листьях, стеблях, корнях). Сдвиг биосинтеза в сторону

преобладающего действия этилена способствует замедлению роста, ускорению старения клеток, созреванию и опадению плодов, формированию отделительного слоя в черешках листьев и плодоножках. Усиление биосинтеза этого фитогормона при повреждающих воздействиях способствует формированию локализирующих некрозов. При регуляции ряда физиологических процессов он действует совместно с абсцизовой кислотой. Синтетические этилен или этилен-продуценты применяются для ускорения послеуборочного созревания плодов (бананов, томатов и других). Используются также 2-хлорэтил-фосфоновая кислота, высвобождающая этилен в растительных тканях, и многочисленные препараты, созданные на её основе. При их применении синхронизируется цветение ананасов, ускоряется созревание плодов на растениях и после уборки, подавляется рост стебля, увеличивается число боковых побегов у целого ряда зерновых, бобовых и овощных культур.

Абсцизовая кислота (от англ. abscission – отделение, опадение), гормон растений, регулирующий процессы увядания, опадения листьев, покоя. Тормозит рост растений. По химической природе изопреноид – сесквитерпеноид (рис. 4).

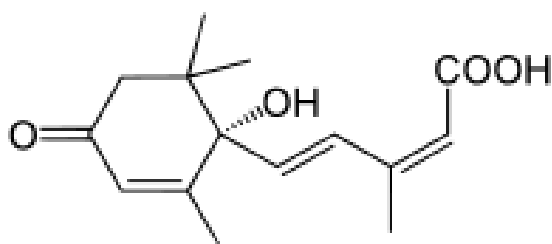


Рисунок 4 – Структура молекулы абсцизовой кислоты

Впервые абсцизовая кислота была выделена американскими учёными Ф. Эддикоттом с сотрудниками (1963) и независимо английскими исследователями под руководством Ф. Уоринга. Кроме того, обнаружен также близкий к ней по структуре и физиологической активности – ксантоксин.

син, а у водорослей и печёночных мхов функции ингибитора роста выполняет лунуларовая кислота.

Абсцизовая кислота затормаживает ростовые и метаболические процессы, подавляет устьичную транспирацию в условиях засухи, способствует формированию и покою семян, клубней и корнеплодов, а также облегчает опадение цветков и плодов многих растений. Её биосинтез происходит путём специфического расщепления каротиноидов типа виолаксантина. В природе она может образовывать конъюгаты, в первую очередь с углеводами, что ведет к инактивации этого фитогормона.

Абсцизовая кислота находится во всех органах и тканях растения и может синтезироваться во многих из них: листьях, корнях, семенах и плодах. В клетках листа она накапливается в хлоропластах. Её транспорт на дальние расстояния происходит по ксилеме и флоэме, а на ближние – по апопласту (клеточным стенкам и межклетникам) и симпласту (протопластам клеток, сообщающимся между собой при помощи плазмодесм). Она обладает многообразным физиологическим действием, хотя получены «увядающие» мутанты растений, которые её не образуют или не чувствительны к ней. Абсцизовая кислота особенно значима для поддержания водного баланса в условиях засухи. Недостаток влаги ведёт к резкой активации синтеза этого фитогормона и его выходу из мест депонирования во внутри- и внеклеточное пространство. В устьичных клетках она вызывает быстрый выход калия, что ведёт к падению тургора этих клеток и закрытию устьичной щели, при этом ею одновременно активируется всасывание воды корнями.

Абсцизовая кислота во многих физиологических процессах является антагонистом ауксина, гиббереллина или цитокинина. Она препятствует преждевременному прорастанию семян при их созревании и усиливает состояние покоя зрелых семян, спящих почек, клубней и корнеплодов, заторма-

живает стимулируемый ауксинами рост колеоптилей. Вместе с этиленом абсцизовая кислота усиливает процессы старения и опадения, особенно увядших цветков и плодов.

На биохимическом уровне различают быстрые и медленные эффекты этого фитогормона. Быстрые эффекты происходят за считанные минуты на уровне плазматической мембраны (устычных клеток) и связаны асимметричным транспортом ионов калия, кальция и анионов через мембрану, в результате чего замедляется поступление воды в устьичные клетки и их тургор падает. Медленные же эффекты связаны с изменением активности (активацией или репрессией) определенного набора компетентных генов, характерного для данной ткани. Её открытие стимулировало работы по созданию новых форм устойчивых к засухе растений, а также синтезу эффективных химических регуляторов транспирации растений.

Известно, что в контроле синтеза и количественного уровня агглютинаина зародыша пшеницы (АЗП) принимает участие АБК. Показано, что, помимо АБК, в регуляции содержания этого белка в корнях проростков пшеницы принимают участие 2,4-эпибрассинолид (ЭБ), гибберелловая кислота (ГК) и ИУК. Это позволило предположить возможное участие данных фитогормонов и в индукции экспрессии гена лектина пшеницы. Анализ транскрипционной активности гена АЗП показал, что все указанные фитогормоны вызвали активацию синтеза лектиновых м-РНК, хотя скорость этого процесса заметно различалась. Так, выдерживание проростков на растворах АБК, ЭБ и ГК приводило к сравнительно быстрому (в течение 2-3 ч) увеличению транскрипции гена АЗП. При этом ЭБ и ГК не изменяли эндогенный уровень АБК в корнях проростков пшеницы, что дает основание к предположению о непосредственном участии этих фитогормонов в регуляции синтеза лектина пшеницы. Несколько иная картина наблюдалась при инкубиро-

вании растений пшеницы на ИУК: индукция экспрессии гена АЗП происходила гораздо медленнее (лишь к 16 часам). При этом ИУК вызывала повышение уровня АБК, которое предшествовало по времени активации синтеза лектиновых м-РНК, что может свидетельствовать об опосредованном через АБК участии ИУК в регуляции экспрессии гена АЗП.

Фенольные ингибиторы роста. Относятся к природным ингибиторам. Среди них известны: кумарин; кофейная, хлорогеновая, коричная, ферулоновая, салициловая и п-оксибензойная кислоты; скополетин, нарингенин (всего около 2000). Они являются производными шикимовой кислоты, а затем фенилаланина и тирозина, далее коричной и паракумариновой кислот. Эти фенолы снижают активность фитогормонов, а так же непосредственно подавляют рост растений, тормозя его через обмен веществ, оказывая неспецифическое действие на обмен веществ. В тоже время ферулоновая кислота активирует ИУК-оксидазу.

Из них наиболее распространена салициловая кислота (от лат. названия ивы – *Salix* L. , из коры которой она была впервые выделена) – 2-гидроксибензойная или фенольная кислота, $C_6H_4(OH)COOH$ (рис.5).

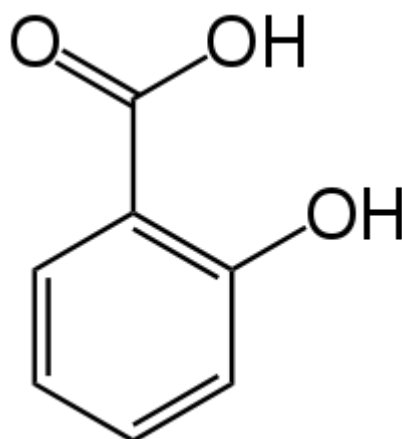


Рисунок 5 – Структура молекулы салициловой кислоты

Она представлена бесцветными кристаллами, хорошо растворимыми в этаноле, диэтиловом эфире и других полярных органических растворителях, но плохо растворимыми в во-

де (1,8 г/л при 20 °С). Выделена из ивовой коры итальянским химиком Рафаэлем Пириа, который затем её синтезировал. В природе встречается в растениях в виде производных – главным образом в виде гликозида метилового эфира (в частности, салициловая кислота была впервые выделена из коры ивы, откуда и происходит название), свободная салициловая кислота наряду с салициловым альдегидом в небольших количествах содержится в эфирном масле, выделяемых из цветов некоторых видов спиреи (*Spiraea ulmaria*, *Spiraea digitata*).

Салициловая кислота - это фитогормон, вызывающий повышение температуры в отдельных органах термогенных растений (в частности лилии вуду). Это происходит по причине разрыва транспорта электронов в митохондриальной дыхательной цепи. Активно изучается роль салициловой кислоты в развитии не специфической реакции на стрессогенные факторы и накопление в клетках активных форм кислорода

Фенольные ингибиторы обеспечивают покой семян, почек, клубней, луковиц (при этом их концентрация возрастает). Они также участвуют в транспорте электронов, биосинтезе лигнина.

Механизм тормозящего действия синтетических ингибиторов на растения недостаточно изучен. Установлено, что большинство из них задерживает рост путём разобщения процессов фосфорилирования и дыхания, подавления синтеза нуклеиновых кислот.

Таким образом, детальное изучение глубинных процессов на клеточном и молекулярном уровнях позволяет познать внутренний механизм физиологических процессов, раскрыть особенности системы гормонально-ингибиторной регуляции растений, целенаправленно создавать и эффективно применять регуляторы роста и развития растений. Фитогормоны не нашли экономически значимого распростране-

ния, поскольку их получение и применение на нынешнем этапе развития науки и производства оказались дорогостоящими и малоэффективными. Это привело к массовому поиску, синтезу и применению синтетических препаратов аналогичного действия – регуляторов роста и развития растений.

Морфактины – соединения, вызывающие аномалии в точке роста и появление уродливых органов у растений. К ним примыкают вещества, специфически задерживающие передвижение ИУК и её производных по растению.

Синтетические ингибиторы, в отличие от природных, способны более резко подавлять ростовые процессы, длительный период не поддаются инактивации растительными тканями, характер их действия часто связан не только с ростом, но и с нарушением морфогенетических процессов.

Контрольные вопросы к теме: «ФИТОГОРМОНЫ»

1. Фитогормоны и их роль в жизнедеятельности растений.
2. Фитогормоны и их классификация.
3. Ауксины, механизм их действия.
4. Ауксины, их химическая классификация, локализация синтеза и транспорт по растению.
5. Гиббереллины, механизм их действия.
6. Гиббереллины, их химическая классификация, локализация синтеза и транспорт по растению.
7. Цитокинины, механизм их действия.
8. Цитокинины, их химическая классификация, локализация синтеза и транспорт по растению.
9. Абсцизовая кислота, механизм её действия.
10. Абсцизовая кислота, её химическая классификация, локализация синтеза и транспорт по растению.
11. Этилен, механизм его действия.
12. Этилен, его химическая классификация, локализация синтеза и транспорт по растению.
13. Фенольные ингибиторы, их многообразие, значение в регуляции жизнедеятельности растений.
14. Гормональная регуляция жизнедеятельности.
15. Салициловая кислота и её роль в регуляции жизнедеятельности растений, морфактины.

3. РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ

Регуляторы роста и развития растений (РРР) - это синтетические и природные органические соединения, которые в малых количествах влияют на жизненные процессы растений, не оказывают в используемых концентрациях токсического действия и не являются источником питания.

Итак, регуляторы роста и развития растений являются, как правило, синтетическими аналогами фитогормонов (ауксинов, гиббереллинов, цитокининов), этиленпродуцентами, стероидами (брассиностероидами). Одним из крупнейших достижений в области физиологии растений является открытие и изучение РРР, обладающих высокой физиологической активностью, способных влиять на интенсивность всех процессов, происходящих в растительном организме.

РРР растений широко применяются в сельскохозяйственной практике для усиления или ослабления выраженности свойств растений в онтогенезе, ускорения или замедления их роста и развития, индукции корнеобразования и цветения, обеспечения дружного созревания урожая, улучшения его товарных качеств и повышения устойчивости растений к действию стрессовых факторов среды. Применение РРР увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур, повышает устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды: засухо- или морозоустойчивость растений, предотвращает полегание посевов, ускоряет созревание, повышает неспецифическую устойчивость растений к ряду патогенов и улучшает качество урожая. Таким образом, они позволяют усиливать хозяйственно-ценные признаки и свойства растений при районировании сортов.

РРР, как природного происхождения, так и полученные синтетическим путём, способны активно влиять на метаболизм растительного организма. Они эффективны даже в концентрациях 10^{-6} - 10^{-9} моль/л.

В сельскохозяйственном производстве регуляция процессов роста и развития растений имеет большое практическое значение, так как растительный организм никогда не реализует полностью всю генетическую информацию, заложенную в генетическом фонде, а использует только её часть в зависимости от конкретных условий. Поэтому активация той или иной части генома, ведущая к интенсификации роста и развития, способствует более полному проявлению потенциальных возможностей организма и повышению его продуктивности.

РРР позволяют повысить устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды (засухе или избытку влаги, повышенной или пониженной температуре), неспецифическую устойчивость растений к ряду фитопатогенов. Согласно современным представлениям в области физиологии растений, **направление в передвижении пластических веществ в растительном организме определяется составом, количеством и соотношением РРР, вырабатываемых в точках роста побега, в листьях и в развивающихся семенах, которые являются центрами притяжения пластических веществ.**

Физиологически активные вещества, попадая в организм, либо включаются в обмен веществ, либо оказывают на него опосредованное воздействие, в результате чего происходит изменение обмена веществ, способствующее снижению или подъему уровня жизнедеятельности растений, что и создает предпосылки для управления их продуктивностью. Эти вещества образуются в одних тканях и органах растений, и, передвигаясь, действуют на другие. В зависимости от физиологического состояния растений, концентрации и состояния фитогормонов, последние могут стимулировать или тормозить тот или иной физиологический процесс, ускорять или замедлять его. Они являются существенным фактором повышения урожайности сельскохозяйственных культур,

вызывают стимуляцию роста и морфогенеза растений, ускоряют образование генеративных органов. Для практических целей РРР, как природного происхождения, так и полученные синтетическим путём, применяют для обработки растений, чтобы изменить процессы их жизнедеятельности или структуру с целью увеличения урожайности, облегчения уборки урожая и улучшения его качества.

Применение синтетических РРР обеспечивает решение многих задач:

- предотвращение полегания зерновых культур и стекание зерна,
- повышение урожайности выращиваемой продукции,
- улучшение завязываемости плодов и ускорение созревания,
- повышение засухо- и морозостойкости растений,
- повышение неспецифического иммунитета (иммунокоррекция), индуцирующего у растения комплексную неспецифическую устойчивость ко многим болезням грибкового, бактериального и вирусного происхождения,
- снижение содержания нитратов и радионуклидов в выращиваемой продукции, повышение её сохранности,
- улучшение вегетативного размножения растений.

Кроме того, на практике они позволяют получить сдвиги в обмене веществ, идентичные тем, которые возникают под влиянием определённых внешних условий (длины дня, температуры и др.), например, ускорить образование генеративных органов, усилить или затормозить рост и т.д.

Ростовые вещества или гормоны (фитогормоны) растений представляют собой соединения, которые образуются в растениях в небольших количествах, но оказывают весьма значительное влияние на весь цикл их развития. Они участвуют в регуляции обмена веществ на всех этапах органогенеза растений. Образовавшиеся фитогормоны поступают в различные органы или ткани растения, направляя характер

протекающих в них процессов и обеспечивая функциональную их целостность.

Фитогормональная регуляция роста и развития растений. К синтетическим РРР относятся стимуляторы типа ауксинов (индолилмасляная или нафтилуксусная кислота) и синтетические ингибиторы (морфактины, ретарданты, дефолианты, десиканты, гербициды).

Гормональная система – важнейший фактор регуляции и управления у растений. Система гормональной регуляции определяет характер протекания таких важнейших физиологических процессов, как рост, формирование новых органов, переход растений к цветению и формированию пола цветков, старение листьев, переход в состояние покоя и выход из него почек, клубней, луковиц и прочее. Регуляция этих процессов гормонами или их синтетическими аналогами высоко специфична.

Синтетические ингибиторы роста применяют для задержки прорастания клубней картофеля при хранении, торможения роста стеблей злаков в целях повышения устойчивости к полеганию (ретарданты), уничтожения сорняков (гербициды).

Создание и использование синтетических РРР связано с потребностью получить химическим путём структурно известные фитогормоны таких групп как ауксины, гиббереллины, цитокинины и другие, а также с поиском физиологически активных веществ, структурно близких к эндогенным фитогормонам.

В отличие от других физиологически активных веществ (гербицидов, дефолиантов, десикантов и удобрений) РРР можно характеризовать как синтетические и природные органические соединения, которые в малых количествах влияют на жизненные процессы растений, не оказывают в используемых концентрациях токсического действия и не являются источником питания. Большинство разрабатывае-

мых, испытываемых и применяемых синтетических РРР относятся:

- 1) к аналогам ауксина и препаратам, связанным с метаболизмом ауксинов и реализацией их физиологической активности;
- 2) к аналогам гиббереллина и препаратам, связанным с метаболизмом и реализацией фитогормонального эффекта гиббереллинов;
- 3) к препаратам, связанным с обменом этилена (этиленпродукты, ингибиторы этилена);
- 4) к цитокининам и цитокининподобным регуляторам роста и развития растений;
- 5) к активаторам и ингибиторам метаболизма (стимуляторы дыхания, фотосинтеза, ингибиторы синтеза каротиноидов, хлорофилла и др.).

Естественно, что такое подразделение условно, особенно регуляторов метаболизма, механизм множественного действия которых наиболее сложен в идентификации.

Синтетические РРР стали появляться после синтеза голландским физиологом растений Ф. Кеглем (1931–1935) ауксина (индолилуксусной кислоты, ИУК). Затем был проведён синтез аналогичных соединений с высокой биологической активностью. Наиболее перспективными оказались РРР типа индолилмасляной, нафтилуксусной и 2,4-ди-хлорфенилуксусной кислоты (2,4-Д). Наибольшую же известность получили физиологически активные вещества, которые по характеру вызываемой ими ответной реакции могут быть распределены на гербициды, дефолианты, десиканты, ретарданты и стимуляторы роста растений.

Синтетические стимуляторы роста типа ауксинов индолилуксусная кислота, или гетероауксин, индолилмасляная кислота, нафтилуксусная кислота (АНУ), используются для усиления корнеобразования у черенков древесных и травянистых растений, улучшения срастания тканей при их пере-

садке и прививках, для предотвращения опадения завязей у плодовых деревьев и кустарников. Эти вещества применяют в микро количествах в зависимости от способа их нанесения на растение.

Эпин (д.в. эпибрассинолид) – регулятор и адаптоген широкого спектра действия, обладает сильным антистрессовым действием, синтезированный аналог природного в-ва. Это раствор эпибрассинолида в спирте 0,25 г/л, его выпуск прекращен. Эпин-экстра – раствор эпибрассинолида в спирте 0,025 г/л. (в эпине-экстра концентрация эпибрассинолида на порядок ниже, но эффективность препарата высокая). Этот эпибрассинолид производится по микробиологической технологии.

Его действие аналогично фитогармонам – контроль за балансом веществ в растении (гомеостазом). Он является адаптогеном - участвует в синтезе антистрессовых белков.

Этот препарат обеспечивает:

- ускоренное прорастание семян;
- укоренение рассады при пикировке и пересадке;
- ускорение созревания и увеличение урожайности;
- защиту растений от заморозков и других неблагоприятных условий;
- повышение устойчивости к фитофторозу, пероноспорозу, парше, бактериозу и фузариозу;
- возрождение ослабленных и омолаживание старых растений за счет стимуляции бокового побегообразования;
- снижение в растении количества токсинов, тяжелых металлов, радионуклидов, избыток нитратов.

Циркон (смесь гидроксикоричных кислот). Он является РРР, вызывает корнеобразование и цветение, индукцию болезнеустойчивости. Его получают из растительного сырья.

Иммуностимуляторы

Иммуностимуляторы - препараты с иммунопротекторным, антистрессовым и рострегулирующим воздействием на растения, способные повышать адаптационные свойства растений к неблагоприятным факторам среды (климатическим, водным, солевым, осмотическим, температурным, и другим стрессам) и их иммунитет к целому ряду заболеваний различной природы. Являясь природными соединениями, они непосредственно включаются в метаболизм растений, не оказывая вредного влияния на почву и окружающую среду. В эту группу входят эпибрассенолид, ауксины, гиббереллины, гидроксикоричные кислоты, гуматы, тепрепы, производные хлоруксусной кислоты, силатраны, дигидрокверцитин, хитозаны, аминокислоты и др.

Салициловая кислота и этилсалицилат вызывают синтез защитных соединений и повышают устойчивость растений к патогенам.

Арахидоновая и эйкозапентановая кислоты индуцируют не только локальную, но и системную пролонгированную устойчивость растений к фитофторозу.

Индукторами иммунитета растений применяемыми в агротехнологиях являются: бион (бензотиодиазол), пробеназол, оксиком, фитохит, хитозан, иммуноцитифит, фуролан и ряд других.

Бион индуцирует устойчивость растений к грибным, бактериальным и вирусным болезням. Действует системно, причём у однодольных продолжительно, а у двудольных – в течение 2-х недель.

Пробеназол используется для индукции иммунитета к бактериальному ожогу пирикуляриозу риса.

Оксиком усиливает фенольный обмен, укрепляет клеточные стенки, повышая иммунитет к мучнистой и ложномучнистой росе, корневой гнили.

Фуrolан вызывает запуск защитных реакций против возбудителей фузариозов злаков (фузариоза колоса и фузариозной корневой гнили). Механизм его действия связан с усилением синтеза лигнина (эндогенного фенола растительных клеток). Кроме того, фуrolан стимулирует формирование крупных плодов у плодовых культур.

Иммуноцитифит препарат на основе арахидоновой кислоты, предназначен: для повышения устойчивости растений к болезням (фитофторозу, альтернариозу, ризоктониозу, чёрной ножке, настоящей и ложной мучнистой росе, серой и белой гнилям, бактериозам, различным видам парши).

Он ускоряет рост и развитие растений, созревание плодов, способствует заживлению ран при повреждении растений насекомыми и повышает антистрессовую активность.

Период его защитного действия до 45 дней.

Хитозаны различной молекулярной массы обладают способностью повышать устойчивость растений к комплексу болезням, в том числе к бурой ржавчине, пыльной головне, мучнистой росе и фузариозной гнили. Значительная часть этих веществ относится к фенольным соединениям (рис. 6).

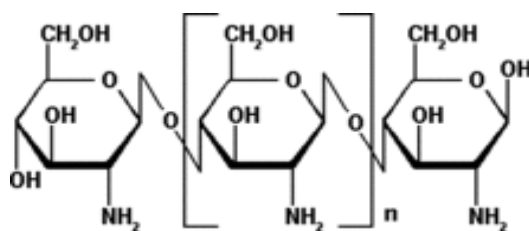


Рисунок 6 – Структура молекулы хитозана

По химической природе хитозан относится к полисахаридам, мономером хитина является N-ацетил-1,4-β-D-глюкопиранозамин. Молекула хитозана содержит в себе большое количество свободных аминогрупп, что позволяет ему связывать ионы водорода и приобретать избыточный положительный заряд. Отсюда и идёт свойство хитозана, как хорошего катионита. Это также объясняет способность хитозана связывать и прочно удерживать ионы различных металлов

(в том числе и радиоактивных изотопов, а также токсичных элементов). Хитозан способен образовывать большое количество водородных связей. Поэтому он может связать значительное количество органических водорастворимых веществ (бактериальные токсины и токсины, образующиеся в процессе пищеварения).

Хитозан плохо растворим в воде. Это связано с тем, что связи между молекулами хитозана более прочные, чем между молекулами хитозана и молекулами воды. При этом он довольно хорошо растворяется в уксусной, лимонной, щавелевой и янтарной кислотах. Может удерживать в своей структуре растворитель, а также растворенные в нём вещества. В растворённом виде хитозан обладает большим сорбирующим эффектом, чем в нерастворённом. Из-за эффекта молекулярного сита и гидрофобных взаимодействий, хитозан может связывать предельные углеводороды, жиры и жирорастворимые соединения. Расщепить хитин и хитозан до N-ацетил-D-глюкозамина и D-глюкозамина можно под действием микробных ферментов таких как хитиназы и хитобиазы. Именно благодаря этому хитозан полностью биологически разрушим, но при этом не загрязняет окружающую среду.

Хитозаны способны защищать клетки от ультрафиолетового излучения. Продукты окисления фенольных спиртов образуют аморфный трехмерный полимер лигнин, откладывающийся в клеточных стенках. Лигнин способен ограничивать в росте гифы грибов, проникших в клетки растений, т.е. лигнификация клеточных стенок создает механическую преграду к проникновению инфекции. При механических повреждениях тканей растений происходит быстрое новообразование раневой перидермы, состоящей главным образом из суберина, в образовании которого принимают участие фенольные соединения.

Хитозан получают из панцирей красноногих крабов или из низших грибов путём удаления ацила (карбонового соединения), который придаёт жёсткость хитину. Основным сырьём для производства хитозана Ракообразные (*Pandalus borealis*) – чаще креветки. Впервые он был получен профессором С. Роже (1859). Основным источником хитозана является хитин. В естественном состоянии он находится в панцирях морских крабов, креветок, криля, омаров, лангустов, раков, а также в наружном скелете зоопланктона, включая кораллы и медуз. У таких насекомых, как бабочки и божьи коровки, хитин содержится в крылышках. Клеточные стенки дрожжей, грибов и разнообразных грибов также содержат это природное вещество. Известно, что панцири ракообразных дорогостоящи. Поэтому, несмотря на то, что есть 15 способов получения из них хитина, был поставлен вопрос о получении хитина и хитозана из других источников, среди которых рассматривались мелкие ракообразные и насекомые. Одомашненные и поддающиеся разведению насекомые в силу своего быстрого воспроизводства могут обеспечить большую биомассу, содержащую хитин.

Гуматы

Гуминовые вещества - это группа органических соединений, полученных в процессе биохимического разложения листьев, корней, животных и микроорганизмов. Они входят в состав гуминовых удобрений (влияющих на плодородие почвы) и гуминовых препаратов (воздействующих на ростовые процессы растения, обладающих высокими иммунопротекторными свойствами).

На рынке агрохимикатов наиболее распространены гумат натрия и гумат калия. Использование этих препаратов в низких концентрациях стимулирует развитие корневой системы, улучшение условий питания и, как следствие, ускоря-

ется рост надземной части. Они так же благотворно влияют на активизацию процессов фотосинтеза, дыхания, увеличение фосфоорганических соединений. Особо эффективны на начальных стадиях развития растений и в начале сезона вегетации, способствуя повышению концентрации хлорофилла и аскорбиновой кислоты.

Гуматы выделяют из многовековых торфяных болот (гуматы сапропелевые), торфа и бурого угля.

Гуматы, выделенные из бурого угля или торфа хорошо действуют в двух концентрациях – 50 мг/л и 100 мг/л. При повышении концентрации до 500 мг/л и выше, препараты начинают угнетать рост растения. Поэтому, вносить больше под растение не следует. Стоит упомянуть препарат *окси-гумат*, обладающий, помимо отмеченных выше свойств, ещё и фунгицидной активностью.

Гуминовые кислоты активируют синтез нуклеиновых кислот, особенно m-РНК. В хлорофилловых зернах усиливается поглощение ультрафиолетового излучения и ускоряется процесс фотосинтеза и листьях растений, стимулируется собственный неспецифический иммунитет растений. Они так же активно связываются с гербицидами, активируя механизм детоксикации гербицидов, предупреждая их накопление в продуктах растениеводства.

Гуминовые вещества способствуют в стрессовой ситуации уменьшению лучевых и химических поражений, восстанавливая жизнедеятельность растений.

Гуминовые вещества отличаются пониженными значениями молекулярных масс, что облегчает их проникновение непосредственно в растение, более активно включаются во внутриклеточные биохимические процессы.

Иммунопротекторная активность препаратов этой группы в сочетании с антистрессовым и ростстимулирующим действием на растения приводит к повышению урожайности и качества продукции.

Ретарданты

Ретарданты (от англ. to retard – задерживаю) - это синтетические вещества, способные задерживать процесс роста клетки растяжением поэтому, попадая в растения, они замедляют вегетативный рост, что приводит к укорачиванию и утолщению стебля. Ретарданты расширяют пластинки листьев, усиливают интенсивность их зеленой окраски, увеличивают корневую систему. В оптимальных дозах они не оказывают отрицательного влияния на репродуктивное развитие и, что особенно важно, повышают продуктивность растений, причём не вызывают отрицательного действия на фотосинтез, дыхание, ограничивая чрезмерный расход воды, что обеспечивает более благоприятный водный режим растений. Эти соединения имеют различную химическую структуру, но обладают одинаковой биологической активностью, выражающейся в задержке деления и растяжения клеток в субапикальной меристеме. Однако полностью рост не останавливается, верхушечная меристема продолжает функционировать. В результате формируются укороченные и утолщённые стебли, перераспределяются пластические вещества между стеблем и репродуктивными органами, более интенсивно образуются структурные элементы, формирующие урожай.

Из всех известных ретардантов наиболее изучено влияние на растительную клетку хлорхолинхлорида (ССС). Препарат впервые синтезирован в 1904 году и в химически чистом виде представляет собой белое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде, полярных растворителях – 2-хлорэтил-3-метиламмонийхлорид – $[\text{C1CH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_3]^+\text{Cl}^-$, молекулярная масса 158, не обладает высокой токсичностью для теплокровных. Во многих странах мира налажено широкое промышленное производство СССР под разными названиям (например, в СНГ – препарат тур, Австрии –

стабилян, Англии – хлор-мекват, Чехии – ретацел, на Балканах – лиодин). Препарат ССС выпускается в виде водного раствора, содержащего суммарную массовую долю хлорхолинхлорида в пределах 58-70 %. Активность хлорхолинхлорида проявляется за счёт его способности тормозить биосинтез гиббереллинов, недостаток которых и является причиной замедления роста растяжением. Этот препарат изменяет состав эндогенных биологически активных соединений в сторону увеличения содержания ингибиторов роста; повышает биосинтез ферментов, регулирующих углеводный обмен и, прежде всего, активирующих биосинтез целлюлозы и образование фенольных соединений; активирует процесс фотосинтеза и холиновый обмен, ведущий к накоплению промежуточных продуктов, обладающих биологической активностью, хотя и в меньшей мере, чем сам ССС. В результате обработки ССС формируются более продуктивные и устойчивые растения.

Достаточно широкое распространение получили в производстве ретарданты на основе 2-хлорэтилфосфоновой кислоты. 2-хлорэтилфосфоновая кислота – твёрдое, белое, воскообразное вещество. Хорошо растворяется в воде, обладает сильным кислотным действием. Очень устойчиво при рН 3 и меньше. На основе 2-хлорэтилфосфоновой кислоты в разных странах мира создано большое количество препаративных форм ретардантов – этрел, кампозан, флордимекс, томатрел, церон, флорел, этрел-С и другие. Ещё в советский период на основе этефона были синтезированы эффективные ретарданты этиленпродуценты – бискислые соли этефона с гидразином (гидрел) и диметилгидразином (дигидрел). Довольно широко распространён 2,2-ди-метилгидразид янтарной кислоты (белый или желтоватый кристаллический порошок). Препаративные формы в различных странах носят названия даминозид, алар, димас, агримед, В 995, В 9, а отечественный аналог – препарат дяк.

Менее распространены, но обладают высокой ретардантной активностью акцимидол (А-рест, редуцимол, E1-531), пи-проктанилбромид (стремтрол, альдеп), мепикват-хлорид (пике, ВА 08300Е, BASF 083), мефлундин (эмбарк, эмбарк 2S, MBR 12315-3M), даингюлак (атринал, P07-6145). Исключительно высокая способность подавлять рост стебля в длину свойственна препарату АМО-1618, известному ещё с 50-х годов XX века. Однако длительная устойчивость препарата в почве ограничивает его использование в физиолого-биохимических экспериментах.

На посевах зерновых культур применяют мепикватхлорид, а при выращивании цветов и в садоводстве для получения более компактных растений и улучшения качества плодов – анцимидол и даминозид – $\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{CONHN}(\text{CH}_3)_2$. На посевах ячменя и ржи в качестве ретарданта используют этилен-продукт этефон – $\text{C}_1\text{CH}_2\text{CH}_2\text{P}(\text{O})(\text{OH})_2$ и его соли. Этот препарат применяют и для повышения содержания латекса у гевеи. Этефон используют также для ускорения и синхронизации раскрытия коробочек хлопчатника, созревания плодов (например, яблони, вишни). В качестве ретардантов перспективны некоторые производные 1,2,4-триазола, в том числе паклобутразол, униканазол ($\text{R} = 4\text{-хлорфенил}$), рекомендованные для предотвращения полегания риса (норма расхода 12 г/га), триапентенол ($\text{R} = \text{циклогексил}$) – для рапса масличного и риса (300-750 г/га).

Необходимо подчеркнуть, что с помощью ретардантов решены такие важные вопросы сельского хозяйства, как борьба с полеганием озимой пшеницы и ржи, повышение продуктивности садоводства и виноградарства, ускорение процесса корнеобразования и улучшение условий уборки урожая.

**Контрольные вопросы к теме
«РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ»**

1. Регуляторы роста и развития растений и их роль в биотехнологиях.
2. Роль регуляторов роста и развития растений в гормональной регуляции жизнедеятельности растений.
3. Разнообразие регуляторов роста и развития растений, применяемых в агротехнологиях.
4. Иммуностимуляторы и их биологическое значение.
5. Применяемые в агротехнологиях иммуностимуляторы.
6. Гуматы и их роль
7. Ретарданты и их значение в агротехнологиях.
8. Применяемые в агротехнологиях ретарданты.
9. Эпибрассинолиды.
10. Хитозаны.

4. КЛЕТОЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ В АГРОТЕХНОЛОГИЯХ

Клеточные метаболиты это органические вещества непосредственно участвующие в биохимических реакциях обмена веществ клетки (например, белковый обмен, дыхательный цикл, фотосинтез). В агротехнологиях применяются органические кислоты и, в последнее время, аминокислоты.

Органические кислоты

Янтарная кислота (бутандиовая кислота, этан-1,2-дикарбоновая кислота) $\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$ – двухосновная предельная карбоновая кислота (рис. 7).

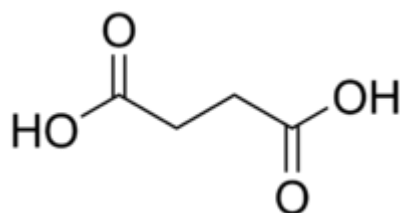


Рисунок 7 – Структура молекулы янтарной кислоты

В промышленности её получают главным образом гидрированием малеинового ангидрида. Впервые она была получена в XVII веке перегонкой янтаря, а её соли и эфиры называются сукцинатами (от лат. *succinum* – янтарь).

Бесцветные кристаллы, растворимые в воде и спирте. Содержится в небольших количествах во многих растениях, янтаре, являясь природным миметиком салициловой кислоты, приводит в действие те же механизмы индукции локальной и системной устойчивости растений к патогенам, повышает интенсивность продукционных процессов и урожаев растений, что в значительной степени связано с их устойчивостью к болезням. Стимулирует рост и повышает урожай растений, ускоряет развитие кукурузы. Она участвует в процессе клеточного дыхания аэробных организмов. Важней-

ший участник цикла трикарбоновых кислот (цикла Кребса). Цикл Кребса – центральное звено метаболизма, основной способ получения энергии при окислении органических субстратов, место пересечения многих метаболических путей. Добавление сукцината извне активирует цикл Кребса в соответствии с принципом Ле-Шателье (добавление в равновесную систему исходных продуктов), что позволяет ускорить процесс вывода недоокисленных продуктов обмена. Она активирует прорастание семян и рост проростков, при этом в зародышевых корнях интенсифицируется деление клеток в зоне меристемы вследствие сокращения продолжительности митотического цикла и активируется рост корней растяжением клеток, что связано с увеличением содержания свободной ИУК в корнях. Янтарная кислота активирует дыхание прорастающих зерновок, гидролиз запасных веществ, что приводит к увеличению активности гидролитических ферментов. Под её воздействием у растений повышается содержание аскорбиновой кислоты и антоцианов. Аскорбиновая кислота является частью сигнальной системы в фитоморфогенезе, катализируемой фитохромом, который активирует синтез аскорбиновой кислоты, опережающий синтез антоцианов, участвующей в окислительно-восстановительных процессах живой клетки.

LD₅₀: орально – 2,26 г/кг (крысы), внутривенно – 1,4 г/кг (мыши).

Хлорогеновая кислота (C₁₆H₁₈O₉), сложный эфир кофейной (3,4-диоксикоричной) кислоты с одним из стереоизомеров хинной кислоты. Она обладает антиоксидантной активностью, которая проявляется за счёт активирования целого ряда антиокислительных ферментов, таких как супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза. Это бесцветные кристаллы с температурой плавления 206–210 °С, хорошо растворимы в воде. Щелочные растворы этой кислоты на воздухе зеленеют (отсюда название). Широко распростра-

нена среди высших растений, часто в смеси с изомерной ей изохлорогеновой кислотой. В больших количествах содержится в прорастающих семенах подсолнечника и не обжаренных зёрнах кофе. Вероятно, она принимает участие в регулировании созревания плодов, воздействуя на дыхание плодов как ингибитор окислительного фосфорилирования. Хлорогеновая кислота токсична для некоторых патогенных микроорганизмов, вызывающих болезни растений (паршу картофеля, вилт и т.п.). У ряда растений (например, у риса) её биосинтез увеличивается в ответ на микробную инфекцию.

Другие **оксикоричные кислоты**, присутствуя в растениях, как в свободном, так и в связанном виде, влияют на процессы роста и являются исходными компонентами в биосинтезе лигнина. Выявлена антибактериальная, потивогрибковая и антипротозойная активность **гидроксикоричных кислот**.

Арахидоновая кислота (входит в состав витамина F) - это Омега-6-ненасыщенная жирная кислота (рис.8).

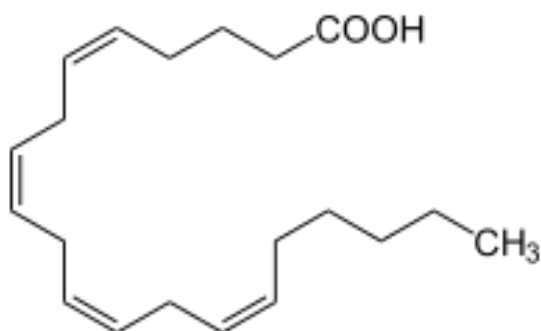


Рисунок 8 – Структура молекулы арахидоновой кислоты

Арахидоновая кислота и её метаболиты влияют на экспрессию генов, ответственных за иммунитет и генов, контролирующих синтез факторов роста, дифференцировки и развития растений. Она индуцирует в растениях системную устойчивость к абиотическим и биотическим повреждающим факторам и заболеваниям. Растения приобретают по-

вышенную устойчивость к фитопатогенам, которая сохраняется в течение месяца. Кроме того, она индуцирует синтез фитоалексинов, способствующих повышению локальной устойчивости к повреждениям и фитопатогенам. У растений повышается устойчивость к экстремальным изменениям температуры и недостатку влаги.

Она предложена и испытана как эффективная добавка к средствам химической защиты растений от сельскохозяйственных вредителей и сорных растений. При добавлении её к известным гербицидам в количестве 0,1 мг/га, установлено достоверное снижение угнетающего действия различных гербицидных композиций на развитие сельскохозяйственных растений, повышение урожайности овощных и зерновых культур на 25 %, снижение накопления токсичных веществ в растениях и в почве, их миграции. Скорость разложения токсичных веществ в растениях увеличилась в 2,2 раза, на почве в 1,9 раз в сравнении с аналогичным препаратом, не содержащим арахидоновой кислоты.

Аминокислоты

Аминокислоты играют огромное значение для растений как ростстимулирующий фактор и представляют собой готовый запас веществ, необходимых для протекания биологических процессов. В настоящее время существенная роль в качестве показателей устойчивости растений к стрессам отводится ряду незаменимых аминокислот. Наиболее часто применяются глицин и аминоклутаровая кислоты с низкой молекулярной массой и высокой степенью усвояемости быстро используются растениями для синтеза белков. Низкомолекулярные пептиды являются запасом медленно освобождающегося азота. Перемещаясь по растению, эти вещества стимулируют синтез белка и регулируют выработку растением собственных гормонов роста.

В последнее время за рубежом появились биостимуляторы на основе аминокислот (АК). Так, препарат Изабион (фирма «Сингента») нарабатывается из сырья животного происхождения и состоит на 62,5% из пептидов и АК (пролин – 10%, глицин – 12%). Хорошо зарекомендовал испанский препарат Аминокат в составе которого ряд АК. Отечественные препараты группы агрохимикатов, созданные на основе растительных субстратов (в основном – водорослей): Тера-Сорб Фолиар (фирма «Биоиберика») и Мегафол (ООО «АгроМастер»). В их состав наряду с АК входят также различные микроэлементы. Препарат Мегафол с содержанием в действующей композиции 28% аминокислот используется в достаточно высоких нормах расхода (0,5-2,0 л/га). Новый препарат Стимунол (ФГНУ «ВНИИЗР») был получен на основе почвенных олигохет. В комплексе органических компонентов препарата обнаружено 17 аминокислот, содержание которых колеблется по различным видам АК в пределах 0,1-2,5%. Если предположить, что данные органические соединения являются действующими веществами препарата, то их роль может быть оценена только как сигнальная. Препарат оказывает действие на растения в крайне низких дозировках (нормы расхода препарата при обработке семян составляют от 0,5 до 5 мл/т, при обработке вегетирующих растений – от 5 до 10 мл/га).

Экзогенное дополнительное внесение АК вызывает определённое воздействие на растительные организмы. Так, метионин способствует снижению полегаемости злаков, влияет на длину колоса и количество формирующихся зерен в них болезней [Рябчинская], обеспечивает иммунитет растений к патогенным бактериям [2, Котляров]. Выявлены рострегулирующие свойства пролина. Антиоксидантные свойства проявляют и аргинин, гистидин, цистеин. В стрессовых условиях свободные АК могут оказывать влияние на работу белоксинтезирующего аппарата, а некоторые АК могут

принимать участие в регуляции метаболизма, влияя на эффективность работы фитогормонов. Например, аланин способен конъюгироваться с цитокининами. Свободные аминокислоты участвуют в построении пептидов, производных сигнальных белков, обладающих ферментативной активностью. Эти пептиды конкурируют с гомологичными им полноразмерными ферментами за связывание с другими сигнальными белками, которые выполняют регуляторные функции. Кроме того, действие пептида в клетке может проявляться во взаимодействии с комплементарными участками фермента, производным которого он является, что изменяет его каталитическую активность и функциональное действие. И, наконец, пептид может влиять на стабильность межмолекулярных комплексов между сигнальными белками, вызывая изменения в клеточном обмене. Эти различные механизмы могут функционировать согласованно, поскольку в их основе лежат конкурентные отношения между пептидом и соответствующим ему участком за связывание с белком-партнером или с комплементарными участками гомологичного ему белка. Выбор механизма или их комбинации зависит от природы и функций сигнального белка, производным которого является пептид, местоположения гомологичного пептиду участка сигнального белка, от микроокружения белка и его функционального состояния (Шпаков).

Глицин (аминоуксусная кислота, аминоэтановая кислота) – простейшая алифатическая АК, единственная АК, не имеющая оптических изомеров (рис. 9). Название глицина происходит от греч. Γλυκύς (glycys) – сладкий, из-за сладковатого вкуса АК. Применяется в медицине в качестве ноотропного лекарственного средства.

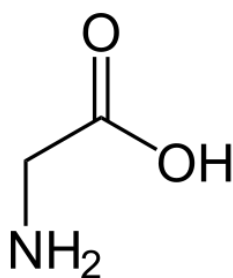


Рисунок 9 – Структура молекулы глицина

Глицином («глицин-фото», параоксифенилглицин) также иногда называют п-гидроксифениламиноуксусную кислоту, проявляющее вещество в фотографии.

Он входит в состав многих белков и биологически активных соединений. Из глицина в живых клетках синтезируются порфирины и пуриновые основания. Под его влиянием уменьшается образование «возбуждающих» АК, таких, как глутаминовая кислота, и повышается выделение гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК). ГАМК снимает возбуждение и оказывает успокаивающее действие, её можно принимать также как транквилизатор, но без риска развития привыкания. Эту АК используют в медицине в комплексном лечении эпилепсии и артериальной гипертензии. Так как она оказывает релаксирующее действие, её применяют при лечении нарушений половых функций. ГАМК назначают при синдроме дефицита внимания. Избыток гамма-аминомасляной кислоты, однако, может увеличить беспокойство, одышку, дрожание конечностей. Фармакологический препарат глицина оказывает седативное (успокаивающее), мягкое транквилизирующее (противотревожное) и слабое антидепрессивное действие, уменьшает чувство тревоги, страха, психоэмоционального напряжения, усиливает действие противосудорожных препаратов, антидепрессантов, антипсихотиков, уменьшает проявления алкогольной и опиатной абстиненции. Обладает некоторыми ноотропными свойствами, улучшает память и ассоциативные процессы.

В этой связи и в растениеводстве глицин зарекомендовал себя как антистрессовое соединение. Он входит в состав такого препарата как **Аминокат**, существенно улучшающего состояние посевов после действия стрессовых факторов (засуха, низкая или высокая температура, последствие пестицидов, интоксикация).

Метионин (2-амино-4-метилтиобутановая кислота) – незаменимая алифатическая серосодержащая α- аминокислота с эмпирической формулой: $C_5H_{11}NO_2S$ (рис. 10).

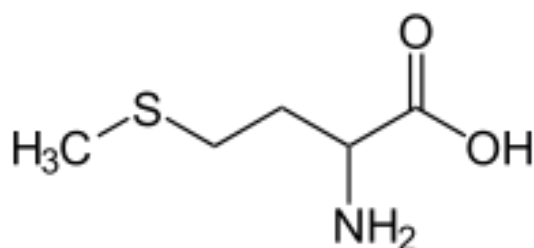


Рисунок 10 – Структура молекулы метионина

Метионин – бесцветные кристаллы со специфическим неприятным запахом, растворимые в воде. Содержится во многих белках и пептидах (метионин-энкефалин, метионин-окситоцин). Он служит в организме донором метильных групп (в составе S-аденозил-метионина) при биосинтезе холина, а также источником серы при биосинтезе цистеина, является предшественником фитогормона – этилена.

L-Метионин – необходимый компонент пищи для человека и животных (незаменимая кодируемая АК). Встречается во всех организмах в составе молекул белков и пептидов, входит в состав опиоидного пептида энкефалина. Особенно богат метионином казеин. Метионин играет важную роль в биосинтетическом метилировании. Организмы способны усваивать как L-метионин, так и его изомер D-метионин. При этом D-метионин превращается в 2-оксо-4-метилтиобутановую кислоту, которая аминируется с обращением конфигурации. Метионин по своим свойствам является типичной алифатической АК, метилсульфидный фрагмент

при восстановлении красным фосфором в йодистоводородной кислоте деметилируется с образованием гомоцистеина; в мягких условиях окисляется до метионинсульфоксида, а под действием перекиси водорода, хлорной кислоты и других сильных окислителей – до соответствующего сульфона.

Первоначально в промышленности метионин выделяли из гидролизатов казеина, однако в настоящее время метионин получают синтетически. Промышленный синтез DL-метионина осуществляют исходя из акролеина

Его биосинтез: из 2-амино-4-гидроксибутановой кислоты (гомосерина) через гомоцистеин. Распадается же он в организме до 2-оксо-бутановой кислоты или до гомосерина.

Наши исследования (2007-2010) показали, что его введение в низких концентрациях в растение (соответствии с принципом Ле-Шателье – добавление в равновесную систему исходных продуктов), не позволяет бактериальному токсину – антиметаболиту метионина (продуцируемому бактериями из рода *Pseudomonas*) нарушить биосинтез белка. При этом биологическая эффективность этой АК не уступает известным бактерицидам, но экологическая безопасность и экономическая эффективность её применения существенно выше. Кроме того усиление биосинтеза белка приводит к увеличению всего метаболизма растения, что значительно повышает иммунитет растений ко всем стрессовым факторам среды. Применение этой АК для защиты растений от фитопатогенных псевдомонад на зерновых колосовых культурах, современный и инновационный способ, который был запатентован и озвучен на международной конференции в Оксфорде (2010). А внедрение препарата на его основе в 2011- 2012 гг. на площади более 20 тыс. га подтвердила высокую практическую значимость этого открытия. Так, обработка этим препаратом посевов озимой пшеницы поражённых бактериальной корневой гнилью оказалась более эффективной по сравнению с антибиотиками (рис. 11).

Причём, в варианте с обработкой этим новым препаратом было обеспечено подавление болезни, усиление ростовых процессов (высоты растений и длина корней) и увеличение содержания фотосинтетических пигментов в 1,5 раза. В то же время, в вариантах с применением антибиотиков растения оказались по темпам роста на уровне контроля (вариант без обработок), хотя подавление бактериоза было очевидным.



Рисунок 11 – Результат обработки растений озимой пшеницы препаратом на основе метионина (крайний справа) по сравнению с антибиотиком (два варианта в середине) и контролем (крайний слева)

Лизин (*2,6-диаминогексановая кислота*) – незаменимая, алифатическая АК с выраженными свойствами основания с эмпирической химической формулой: $C_6H_{14}N_2O_2$ (рис. 12).

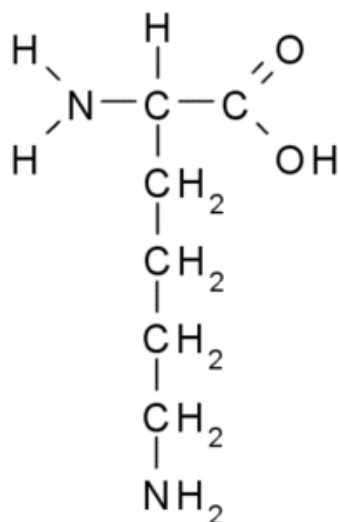


Рисунок 12 – Структурная формула лизина
(2,6-диаминогексановая кислота)

Лизин входит в состав практически любых белков, необходим для роста, восстановления тканей, синтеза антител, гормонов, ферментов, альбуминов. Эта АК оказывает противовирусное действие. Рекомендуются сочетать лизин с витамином С и биофлавоноидами при вирусных заболеваниях. Лизин поддерживает энергетический уровень, участвует в восстановлении тканей. Он улучшает усвоение кальция и его транспорт, усиливает действие аргинина. Его дефицит неблагоприятно сказывается на синтезе белка, что приводит к замедлению роста и снижению массы тела, проблемам в репродуктивной сфере.

Синтетический лизин применяют для обогащения кормов и пищевых продуктов

Американские учёные под руководством Д. Сандса (личное сообщение), действуя высокой концентрацией лизина на растения кукурузы вызвали почти полную их гибель. Однако были выявлены и отобраны выжившие растения, устойчивые к такому стрессу. В этой связи возникла идея использовать летальные для других растений дозы лизина в качестве гербицида для выращивания устойчивых к ним гибридов кукурузы. Надо отметить, что устойчивые к такой

дозе образцы, оказались высоколизиновыми, а это важно для повышения питательной ценности зерна.

Фенилаланин (α -амино- β -фенилпропионовая кислота) – ароматическая незаменимая α -аминокислота. Существует в двух оптически изомерных формах – L и D и в виде рацемата (DL). По химическому строению её можно представить как АК аланин, в которой один из атомов водорода замещён фенильной группой (рис. 13).

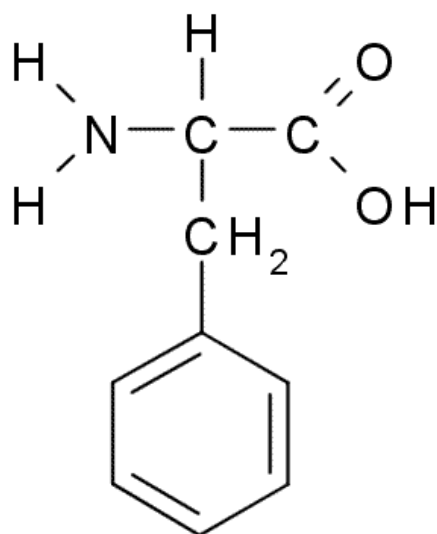


Рисунок 13 – Структура молекулы фенилаланина
(α -амино- β -фенилпропионовая кислота)

L-фенилаланин является протеиногенной АК и входит в состав белков всех известных живых организмов, обеспечивая гидрофобные и стэкинг-взаимодействия, играет значительную роль в фолдинге и стабилизации структуры белка, является составной частью функциональных центров.

Он является предшественником циннамата – одного из основных предшественников фенилпропаноидов. Именно это определяет его участие в сигнальной системе клеток растений основным путём синтеза салициловой кислоты (фенилпропаноидным), которая выполняет с одной стороны роль элиситора (обеспечивая запуск защитных реакций), а с другой – фитогормона (являясь в этом случае её прямым

предшественником). Но может и преобразоваться в один из биогенных аминов – фенилэтиламин.

В процессе его биосинтеза промежуточными соединениями являются шикимат, хоризмат, префенат.

В природе известно несколько путей его биодеградации. Основными промежуточными продуктами катаболизма этой аминокислоты и метаболически связанного с ним тирозина у различных организмов выступают фумарат, пируват, сукцинат, ацетоацетат, ацетальдегид и другие. У животных и человека эта АК и тирозин распадаются до фумарата (превращается в оксалоацетат, являющийся субстратом глюконеогенеза) и ацетоацетата (повышает уровень кетоновых тел в крови), поэтому эти АК по характеру катаболизма у животных относят к глюконеогенным (смешанным).

В промышленных масштабах его получают микробиологическим способом. Используют для сбалансирования кормов для животных, как компонент спортивного питания. Значительная его часть идёт на производство дипептида аспартама – синтетического сахарозаменителя, активно используемого в пищевой промышленности, чаще в производстве жевательной резинки и газированных напитков.

Наши исследования показали целесообразность его применения в растениеводстве.

Глутаминовая кислота (*глутаминовая или аминоклотовая кислота*). Эмпирическая формула этой алифатической АК: $\text{COOH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$, т.е. в её молекуле две карбоксильной группы (рис. 14).

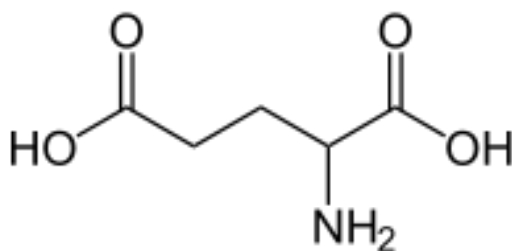


Рисунок 14 – Структура молекулы глутаминовой кислоты

Кристаллы, растворимые в воде, температура плавления 202°C. Входит в состав белков и ряда важных низкомолекулярных соединений (например, глутатиона, фолиевой кислоты). Её природная форма представляет D (+) изомер. Она является заменимой АК для животных. Содержится в большом количестве в казеине, желатине, клейковине. В плазме крови вместе со своим γ -моноамидом – глутамином – составляет около $\frac{1}{3}$ всех свободных АК.

Реакция: $\text{Г.к.} + \text{NH}_3 + \text{АТФ} \rightarrow \text{глутамин} + \text{АДФ} + \text{Ф}_{\text{неорг.}}$ осуществляется ферментом глутаминсинтетазой, относящейся к группе лиаз); при этом происходит связывание избытка аммиака в тканях животных и растений. Глутамин транспортирует аммиак к месту его детоксикации (у животных в большинстве случаев в почках и печени), он служит также резервом аминогрупп и входит в состав белков. Особенно важную роль система глутамин – глутаминовая кислота играет в обмене веществ. Кроме того эта АК участвует и в других важных процессах обмена веществ: в переаминировании (где она наряду с аспарагиновой кислотой является одним из неперенных участников); в окислительном дезаминировании с образованием α -кетоглутаровой кислоты, вовлекаемой в цикл трикарбоновых кислот; в декарбоксилировании, приводящем к образованию важного вещества – гамма-аминомасляной кислоты; во многих синтезах, в том числе глутатиона, глюкозы, орнитина. Глутаминовая кислота используется в качестве хирального строительного блока в органическом синтезе, в частности, дегидратация глутаминовой кислоты приводит к её лактаму – пироглутаминовой кислоте (5-оксопролину), которая является ключевым предшественником в синтезах неприродных АК, гетероциклических соединений, биологически активных соединений.

Она входит в состав регулятора роста растений Рибав-Экстра, Р – препаративная форма: раствор, а действующее

вещество: L-аланин + L-глутаминовая кислота (содержание действующего вещества: 0,00152 + 0,00196 г/л).

Глутаминовая кислота используется в пищевой промышленности в виде натриевой соли для улучшения вкуса и пищевой ценности продуктов. В медицине применяется в таблетках, порошках, пастах, а также в растворах (для внутривенного вливания) при лечении некоторых психических и нервных заболеваний. Назначаются также её кальциевая и магниевая соли.

Аланин (*аминопропановая кислота*) – алифатическая АК (рис. 15), его изомеры: α -аланин (входит в состав многих белков), β -аланин (в составе ряда биологически активных соединений) и L-аланин. Является структурным фрагментом важнейших центров обмена веществ – кофермента А и пантотеновой кислоты, а также ансерина и карнозина. Аланин может легко превращается в глюкозу и наоборот. Этот процесс носит название глюкозо-аланинового цикла и является одним из основных путей глюконеогенеза.

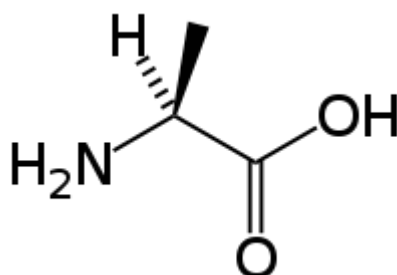


Рисунок 15 – Структура молекулы аланина

Как уже отмечалось, аланин способен конъюгироваться с цитокининами, что может усиливать репродуктивные функции растений.

Пролин (*пирролидин- α -карбоновая кислота*) – гетероциклическая АК (иминокислота). Существует в 2-х оптически изомерных формах (L и D), а также в виде рацемата. *L-пролин* – одна из двадцати протеиногенных АК (рис. 16).

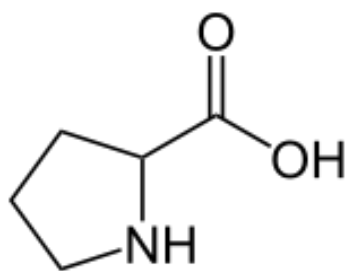


Рисунок 16 – Структурная формула пролина

Он входит в состав всех белков организмов. Пролин содержит атом азота, соединённый с предыдущим аминокислотным остатком, аминокислотным радикалом и группой СН. Эта АК очень резко изгибает пептидную цепь.

Представляет собой бесцветные легко растворимые в воде кристаллы, плавящиеся при температуре около 220°С. Хорошо растворим в этиловом спирте, хуже – в ацетоне и бензоле, не растворим в эфире. В организме пролин синтезируется из глутаминовой кислоты. Пролин, как и гидроксипролин, в отличие от других АК, не образует с нингидрином пурпура Руэмана, а даёт жёлтое окрашивание.

Его рострегулирующие свойства выражены в увеличении фертильности пыльцы, участии в регуляции водного баланса клеток и тканей, стимуляции повышения теплоустойчивости растений, то есть он является полифункциональным протектором. В настоящее время пролин относят к факторам неспецифических механизмов устойчивости растений и адаптации к стрессорам. Структурные особенности пролина дают основание считать его одним из возможных скавентеров активных форм кислорода, а также антиоксидантом. Кроме того, эта АК участвует в работе системы клеточного рН-стата и является источником энергии.

**Контрольные вопросы к теме:
«КЛЕТОЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ
В АГРОТЕХНОЛОГИЯХ»**

1. Клеточные метаболиты в агротехнологиях.
2. Органические кислоты, применяемые в агротехнологиях
3. Янтарная кислота и её роль в регуляции жизнедеятельности растений.
4. Арахидоновая кислота и её роль в регуляции жизнедеятельности растений.
5. Аминокислоты, применяемые в агротехнологиях.
6. Глицин и его роль в регуляции жизнедеятельности растений.
7. Метионин и его роль в регуляции жизнедеятельности растений.
8. Лизин и его роль в регуляции жизнедеятельности растений.
9. Фенилаланин и его роль в регуляции жизнедеятельности растений.
10. Пролин и его роль в регуляции жизнедеятельности растений.
11. Аланин и его роль в регуляции жизнедеятельности растений.
12. Глутаминовая кислота и её роль в регуляции жизнедеятельности растений.

5. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕПАРАТЫ В АГРОТЕХНОЛОГИЯХ

Целый ряд микроорганизмов, обитающих в почве обладают способностью образовывать физиологически активные вещества – антибиотики, фитогормоны, токсины, полисахариды и ряд других. Эти свойства используют в агротехнологиях для защиты посевов от вредных организмов, восстановления и повышения плодородия почвы. Среди этих микроорганизмов есть бактериальные и грибные микробиологические препараты, которые могут расщеплять биополимеры, являются антагонистами возбудителей болезней или энтомофагами.

Препараты на основе псевдомонад

Планриз, Ж (син. *ризоплан*). Препарат на основе бактерий *Pseudomonas fluorescens* (штамм AP-33). Применяется против «черной ножки», сосудистого и слизистого бактериоза капусты, при появлении первых признаков болезни путем опрыскивания или протравливанием семян.

Бинорам, Ж. Препарат на основе бактерий *Pseudomonas fluorescens* (штаммы, 7Г, 7Г2К, 17-2). Титр $2,5 \dots 5 \times 10^{10}$ клеток/мл. Применяется путем подлива под корень или опрыскиванием растений капусты против сосудистого или слизистого бактериоза.

Псевдобактерин – 2, Ж и **Псевдобактерин – 2, ПС**. Препарат на основе бактерий *Pseudomonas aureofaciens* (штамм BS 1393). Препаративные формы – культуральная жидкость (титр $2 \dots 3 \times 10^9 \dots 10^{10}$ клеток/мл) и порошок (титр $2 \dots 3 \times 10^{10} \dots 10^{12}$ клеток/мл) может быть использован как противобактериальное средство путем протравливания семян, причем при температуре не менее $7 \dots 8^\circ\text{C}$ или

опрыскиванием. Все эти препараты хранятся не более 1,5 месяца при температуре +4 ... +5° С.

Препараты на основе бактерий из рода *Bacillus*

В их числе препарат на основе сенной палочки – *B. subtilis*, образующей ряд антибиотиков.

Бактофит, СП. Препарат на основе бактерий *Bacillus subtilis* (штамм ИПМ 215). Препаративная форма – смачивающийся порошок (СП) с биологической активностью 10000 ЕА/г, со сроком хранения 2 года, при температуре от –30 до +30°С, суспензионный концентрат (СК), со сроком хранения 6 месяцев при температуре от –25 до +25°С. Действует против почвенных фитопатогенов. Упаковка СП по 10, 15, 20 кг в мешках, а СК в полиэтиленовых канистрах по 20 и 50 л. Применяется против бактериозов капусты путем протравливания семян, опрыскивания и подлива под корень. Его используют для обработки семян и вегетирующих посевов зерновых, овощных, плодовых, ягодных и декоративных культур. Он сохраняет биологическую активность в течение 7–20 дней.

В его состав входят, также гумат калия, макро- и микроэлементы: Mn, S, B, Fe, Zn, Mo, поэтому обладает ростстимулирующим, иммуномодулирующим и антистрессовым эффектом. Однако его целесообразно применять против бактериозов только при низкой инфекционной нагрузке как профилактическое средство, а также для восстановления супрессивности почв. Он высоко эффективен против целого ряда возбудителей микозов растений (мучнистой росы, септориоза, фузариозов, пиренофороза, ржавчины зерновых; корневой гнили и мучнистой росы огурца; мучнистой росы, корневой гнили, фитофтороза томата; фитофтороза, ризоктониоза, фузариозного увядания картофеля; мучнистой росы земляники и черной смородины).

Фитоспорин М, СП. Препарат на основе бактерий *Bacillus subtilis* (штамм 26Д). Титр 2 млрд. спор и клеток/г. Применяется против мокрой гнили картофеля, бактериоза огурца, бактериального рака томата, черной ножки капусты. **Фитоспорин-М** (паста) (ДВ *Bacillus subtilis* 26 Д, 100 млн. кл/г) – биофунгицид для защиты растений от грибковых и бактериальных заболеваний. Используется в основном в профилактических целях (обработка семян, клубней и лукович перед посадкой, периодическое опрыскивание или полив растений с целью предупреждения заболеваемости в коллекции). Малотоксичен, не опасен для самих растений и пчел. Класс опасности – 4.

Биоагенты бактериальной природы, находящиеся в стадии изучения

Изучается и обработка посевов ячменя против патогенных псевдомонад суспензией клеток бактерий антагонистов *Pantoea agglomerans* (штамм Eh 460). Причем установлено, что совместная инокуляция растений ячменя *Pseudomonas syringae* с этим штаммом бактерии – антагониста может привести к синергизму. В тоже время, обработка растений суспензией *Pantoea agglomerans* на 3-й день после инокуляции колосьев ячменя показала ее достаточно высокую биологическую эффективность (70%). Поэтому нарушение рекомендованной технологии применения антагонистов может привести к обратному эффекту (рис. 17).

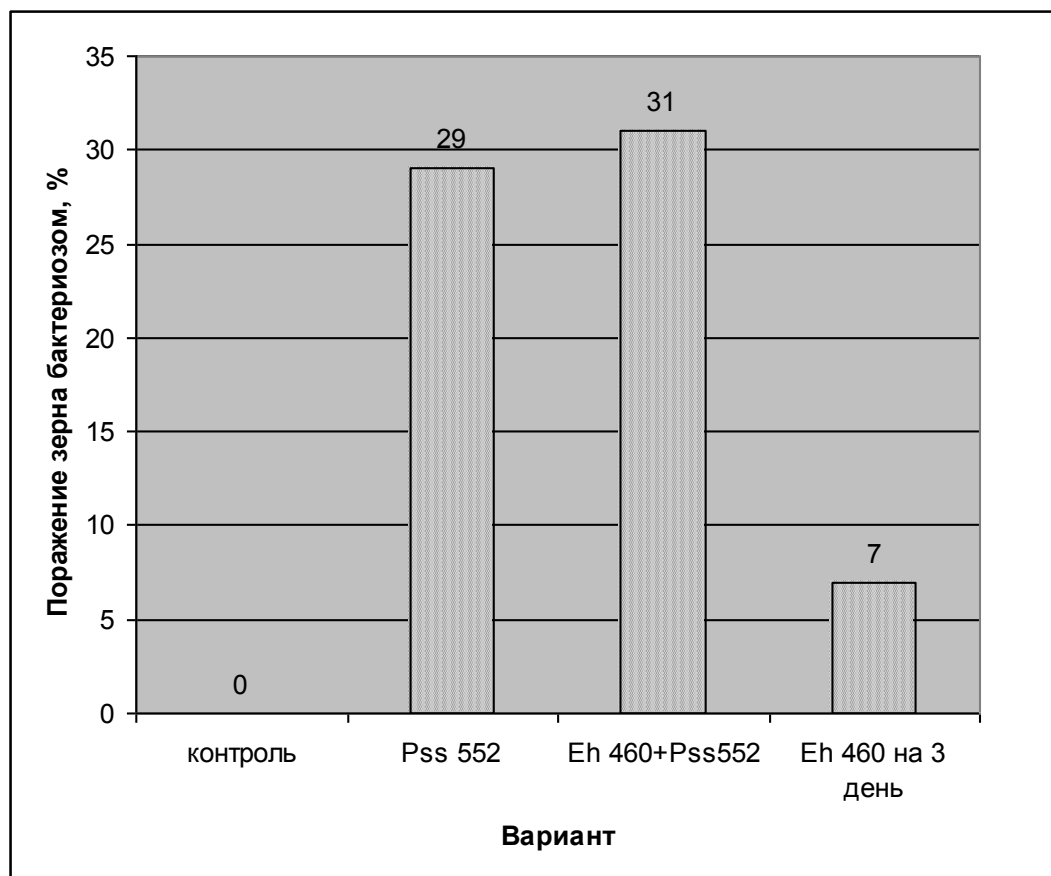


Рисунок 17 – Результаты использования бактерий антагонистов *Pantoea agglomerans* (Eh 460) для защиты ячменя против поражения зерна бактериозом (возбудитель *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*) при искусственной инокуляции колосьев в теплице (Braun-Kiewnik, 2000)

В 90-х г.г. 20 века большие надежды у бактериологов вызывал метод использования мутантных штаммов непатогенных бактерий, подавляющих вирулентность патогенных штаммов псевдомонад. Для этого был получен мутантный штамм псевдомонад № 61, несущий гены *hpr* и задерживающий патогенез растений путем активной конъюгации с клетками патогенных псевдомонад (Ott, 1995). Подобная работа была проведена и для подавления вирулентности бактериального увядания томата, возбудитель *Pseudomonas solanacearum*, где применен авирулентный штамм Tn 5 (Sige, 2005).

Микробиологические препараты на основе почвенных микроорганизмов-антагонистов

Учитывая значительное влияние на растения инфекции находящейся в почве на растительных остатках, несомненный интерес представляет и внесение в почву комплекса анаэробных бактерий антагонистов. Первым отечественным препаратом такого рода является «*Байкал ЭМ-1*». Это, прежде всего, важно для подавления возбудителей бактериальных корневых гнилей. Особенностью применения таких препаратов является то, что для увеличения их эффективности необходимо создавать анаэробные условия путем заделки в почву сразу после внесения на поле или накрыванием черной пленкой при компостировании растительных остатков – потенциальных накопителей бактериальной инфекции. В целом же слабыми сторонами большинства отмеченных биопрепаратов является: короткие сроки хранения (за исключением препаратов на основе спорообразующих бактерий из рода *Bacillus*), оптимально высокая температура для применения, несовместимость в баковых смесях. В то же время они являются экологическими малоопасными и имеют продолжительный период действия против возбудителей болезней.

«*Байкал ЭМ-1*». Действующее вещество – концентрат, состоящий из комплекса молочнокислых, азотфиксирующих и фотосинтезирующих бактерий, дрожжей и другой микрофлоры, а также продуктов их жизнедеятельности. Представляет собой желто-коричневую жидкость с кефирно-силосным запахом. Кислотность препарата должна быть 3,5 рН, но не более 4,0 рН. Класс опасности – препарат не токсичен для человека, животных и пчел. Срок хранения – 1 год в плотно закрытой таре, защищенном от света месте. Применяется для осенней и весенней подготовки почвы, об-

работки рассады, семян, корневого полива растений, приготовления компостов.

Регламенты применения.

1. Осенняя и весенняя подготовка почвы: полив раствором препарата в разведении 1:100 (100 мл на 10 л воды), из расчета 2 ... 4 л раствора на 1 м² и заделать в почву. Высаживать растения рекомендуется не раньше чем через 7 дней после обработки.

2. Обработка семян: семена замачивать в рабочем растворе в соотношении 1:1000, время экспозиции 12–24 час., расход рабочего раствора – 1 л на 1 кг семян.

3. Полив рассады: полив раствором в соотношении 1:2000, еженедельно.

4. Корневой полив: полив растений 1–2 раза в неделю раствором препарата в соотношении 1:1000 с нормой внесения рабочего раствора 2 л на 1 м².

5. Приготовление компоста: послойно увлажнить раствором препарата в разведении 1:100 навоз, опилки, растительные остатки из расчета 10 л раствора на 1 м² органики слоем 20 см., на каждый слой перед поливом добавлять землю (10 кг на 1 м²), компостную массу накрыть пленкой. Через две недели при оптимальной температуре (+20 ... +25°С) компост готов к употреблению.

В настоящее время в России выпускается целый ряд современных микробиологических препаратов: *биофит-1*, *биофит-2*, *биофит-3* (г. Ставрополь), *ризобакт А, Р, Ф* (г. Санкт-Петербург).

Биофит-1 – микробиологический препарат для защиты и стимуляции роста растений. Действующее вещество: комплекс высокоактивных штаммов молочнокислых, азотфиксирующих, фотосинтезирующих, аммонифицирующих микроорганизмов, а также сахаромицетов и антагонистов, то есть грибов и бактерий из родов: *Trichoderma*, *Saccharomyces*, *Bradirizobium*, *Lactobacillus*, *Azotobacter*, *Azospirillum*,

Rhodopseudomonas, Pseudomonas, Bacillus, Agrobacter. Его защитное действие проявляется за счет:

1) подавления патогенной микрофлоры (возбудителей грибных и бактериальных болезней) антибиотиками, образующимися антагонистами;

2) конкуренции за субстрат питания;

3) образования молочной кислоты, угнетающей ряд патогенов;

4) синтеза биологически активных веществ, подавляющих ферментные системы фитопатогенов, что не позволяет им встроиться в метаболизм растений;

5) создания ризосферы растений, обеспечивающей эффект активной буферной среды, удерживающей численность болезнетворных микробов ниже экономического порога вредоносности.

Регламенты применения и норма расхода препарата.

1. Предпосевная обработка семян. Протравливание 0,1%-ным раствором препарата из расчета 1 л на 1 т семян. При этом посев семян лучше осуществлять в день обработки, но допустимо использовать в течение нескольких недель.

2. Посадочный материал. Клубни картофеля, корневища, луковицы и т.п. замачивают в 0,1% раствора *Биофита-1* в течение 1 час. перед посадкой.

3. Рассадка. Полив грунта 1% раствором биопрепарата за 3–7 дней до высадки, полив под корень и опрыскивание растений двукратно за 1–2 недели до высадки, а также после обработки вегетирующих растений. Полив под корень и опрыскивание растений 0,1%-ным раствором препарата с интервалом в 10–14 дней, с нормой расхода 2 л на 1 га.

4. Обработка саженцев. Замачивание корней в 0,1 раствора биопрепарата в течение 2 часов перед посадкой, а также обработка посадочной смеси за 5–7 дней до посадки и полив этим раствором растений под корень после посадки.

5. Обработка древесных растений. Полив и опрыскивание 0,1% раствором *биофита-1* в весенне-летний период, в фазе начало сокодвижения и набухания почек, а также перед цветением и через 2 недели после цветения. При появлении очагов бактериального или грибного поражения дополнительная обработка этим раствором с интервалом 7–10 дней. Позднее опрыскивание производить за 1–2 недели до сбора урожая.

6. Обработка урожая и тары хранения. Выращенная продукция и тара обрабатываются препаратом перед транспортировкой и закладкой на хранение.

Форма выпуска и упаковка. *Биофит-1* выпускается в жидкой препаративной форме 1×10^9 мк/мл и концентрированной – 4×10^9 мк/мл. Упаковка 0,5 л и 10 л.

Класс опасности – IV. Препарат безопасен для человека и животных.

Условия и срок хранения. Хранить в сухом месте при температуре от +5 до 25°C в плотно закрытой таре, без доступа света, до 12 мес.

Биофит-2. Является микробиологическим препаратом, активатором компостирования и лизиса растительных остатков.

Действующее вещество – комплекс микрогранул природного происхождения с прямым целлюлозолитическим, антигрибным и бактерицидным действием, в который входят молочнокислые, целлюлозолитические, аммонифицирующие, а также бактерии из рода *Pseudomonas* и *Bacillus*. Защитное действие проявляется за счет лизиса патогенной микрофлоры, находящейся на пожнивных остатках и полного разложения последних.

Регламент применения и норма расхода. Внесение в почву до и после дискования из расчета 2 л/га

Форма выпуска. Препарат выпускается в жидком виде с концентрацией 1×10^9 мк/мл.

Класс опасности – IV. Препарат безопасен для человека и животных.

Условия и срок хранения. Хранить в сухом месте при температуре от +5 до 25°C в плотно закрытой таре, защищенном от света места, не более 12 месяцев.

Биофит-3. Является микробиологическим препаратом для консервирования плющенного зерна, а также защиты пищевого и фуражного зерна от фитопатогенных микроорганизмов при хранении.

Действующие вещество – живые бактерии *Lactobacillus* и *Bacillus*.

Защитное действие. Биологически активные и бактерицидные вещества, подавляющие развитие патогенной микрофлоры (грибной и бактериальной).

Регламент применения и нормы расхода. Обработка зерновой массы на транспорте опрыскиванием раствором препарата форсунками, из расчета 5 л на 10 т. Количество воды – доведение до требуемой влажности зерна.

Форма выпуска и упаковка. *Биофит-3* выпускается в жидкой препаративной и концентрированной форме в упаковке 5 и 10 л.

Условия и срок хранения. Хранить в сухом месте при температуре от +5 до 25°C в плотно закрытой таре не более 1 года.

Класс опасности. Препарат безопасен для человека и животных.

Ризобакт-А и **Ризобакт-Р** – микробиологические препараты для зерновых культур. Действующие вещество – живые азотфиксирующие бактерии, вступающие в тесное взаимодействие с корнями и надземной массой растений.

Защитное действие. Продуцирование антибиотиков и стимуляторов роста, фиксация атмосферного азота в обмен на углеводы, выделяемые растениями.

Регламент применения и нормы расхода. Предпосевная обработка семян из расчета 1 л/т и посев в течение суток после этого. Опрыскивание посевов в фазу весеннего кущения при температуре не ниже +5 ... +6°C в темное время суток или пасмурную погоду из расчета 0,2 л на 1 га с прилипателями (молочный обрат, NaКМЦ, ПВС, технический казеин, меласса или технический желатин). *Ризобакт* можно применять с интервалом не менее 10 дней после использования химических препаратов.

Форма выпуска. Препарат выпускается в жидком виде.

Класс опасности. Препарат безопасен для человека и животных.

Условия и срок хранения. Хранить в сухом, защищенном от света месте, при температуре от +2 до +6°C, не более 2 мес.

Ризобакт-Ф – микробиологический препарат для технических, зерновых культур и картофеля, повышающий устойчивость к болезням и стрессовым факторам, а также улучшающий фосфорно-калийное и азотное питание.

Действующее вещество: комплекс ризобактерий.

Механизм действия препарата. Ризобактерии обеспечивают фиксацию азота воздуха, перевод труднодоступных форм фосфора, калия, и других важных элементов минерального питания в легкодоступные для растений формы, а также образование антибиотиков и стимуляторов роста в обмен на углеводы, выделяемыми корнями растений.

Регламент применения и норма расхода препарата. Препарат вносится путем протравливания семян раствором или опрыскиванием посевов. Протравливание семян осуществляется раствором *Ризобакт-Ф* из расчета 1 л на 1 т семян, с последующим их высевом в почву в течение суток. Обработка посевов путем опрыскивания производится в темное время суток или пасмурную погоду с нормой расхода препарата 0,2 л/га. Применение препарата будет более эффек-

тивным, если использовать прилипатели: молочный обрат, NaКМЦ, ПВС, казеин технический, меласса или желатин технический.

Препарат не совместим с химическими средствами защиты растений, совместим с биологическими аналогами.

Форма выпуска. Препарат выпускается в жидкой концентрированной форме с концентрацией 10 кл./мл.

Сроки и условия хранения. Хранить препарат необходимо в сухом, темном помещении, плотно упакованной таре, при температуре +2 ... +4°C, в течение 1 ... 2 мес.

Класс опасности. Препарат безопасен для человека и животных.

Акрам (активатор компостирования растительных остатков). Производится ООО «НПО Биопром».

Действующее вещество: микробиологический препарат на основе молочнокислых бактерий (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus lacnis*) для ускорения лизиса растительных остатков и компостирования. Обеспечивает фунгицидную активность в отношении *Verticillium dahliae*, *Helminthosporium sativum*, *Fusarium spp.* и другой фитопатогенной микрофлоры, разлагает семена сорняков, яиц и куколок насекомых, увеличивает содержание азота, подвижных форм микроэлементов Mg, Mn, Mo, B и гумуса в почве, улучшает ее структуру. Препарат эффективен при внесении после уборки зерновых и зернобобовых культур, картофеля и при освоении залежных земель.

Регламент применения и норма расхода препарата. Вносится опрыскиванием, с одновременной заделкой в почву, расход препарата 0,6...1 л на 1 га.

Сроки и условия хранения. Хранить препарат необходимо в сухом, темном помещении, плотно упакованной таре, при температуре +2 ... +4°C, в течение 12 мес.

Класс опасности. Препарат безопасен для человека и животных.

Другие бактериальные препараты – антагонисты

Высокой антагонистической активностью обладают препараты на основе молочнокислых и азотфиксирующих бактерий, хотя (к сожалению) их нет в Списке разрешённых препаратов.

Молочнокислые бактерии – группа микроаэрофильных грамположительных микроорганизмов, сбразивающих углеводы с образованием молочной кислоты как одного из основных продуктов. Молочнокислое брожение стало известно людям на заре развития цивилизации. С тех пор им пользуются в домашних условиях и в пищевой промышленности для переработки и сохранения еды и напитков. Традиционно к молочнокислым бактериям относят неподвижных, **неспорообразующих** кокковидных или палочковидных представителей отряда *Lactobacillales* (например, *Lactococcus lactis* или *Lactobacillus acidophilus*). Эти бактерии являются антагонистами, их применяют для вытеснения патогенной микрофлоры из почвы и для утилизации сахаров, образованных триходермой в процессе разложения её растительных остатков.

Азотфиксирующие бактерии. **Азотфиксация** – фиксация молекулярного атмосферного азота, diazotroфия. Процесс восстановления молекулы азота и включения её в состав своей биомассы прокариотными микроорганизмами. Важнейший источник азота в биологическом круговороте. В наземных экосистемах азотфиксаторы локализуются в основном в почве. Атомы в молекуле азота связаны прочной тройной ковалентной связью, из-за чего он практически не вступает в реакции окисления-восстановления в нормальных условиях без применения катализаторов и не может использоваться растениями и животными. Микроорганизмы для восстановления азота используют целую серию ферментов (ферредоксин, гидрогеназа), важнейшим из которых

является нитрогеназа. За её синтез ответственны так называемые *nif*-гены, широко распространенные у прокариот (в том числе археобактерий), но не встречающиеся у эукариот. Процесс азотфиксации достаточно энергоёмкий, для ассимиляции 1 молекулы азота требуется не менее 12 молекул АТФ, то есть для использования 1 мг азота анаэробным микроорганизмам требуется около 500 мг сахарозы. Вместе с тем, нитрогеназа блокируется молекулярным кислородом, поэтому азотфиксация в основном анаэробный процесс. Но ряд аэробных бактерий выработал механизмы защиты нитрогеназы от блокирования. Так, например, за счёт механизма повышенного уровня дыхания у бактерий *Azotobacter chroococcum*, которые при азотфиксации окисляют часть органического вещества, не запасая выделившейся энергии, а только лишь удаляя этим кислород.

У других бактерий (характерен для цианобактерий, способных к фотосинтезу с выделением кислорода) – путём локализации азотфиксации в гетероцистах. Для защиты нитрогеназы от кислорода они имеют особые, лишенные хлорофилла клетки – гетероцисты. Некоторые цианобактерии, не образующие гетероцисты, также способны к азотфиксации. Нитчатая цианобактерия *Plectonema boryanum* фиксирует азот в микроаэробных условиях (1.5% содержания кислорода в темноте и 0.5% кислорода на свету), нитчатые цианобактерии *Symploca* и *Lyngbya majuscula*, а также одноклеточные цианобактерии родов *Gloeothese* и *Cyanothese* способны к азотфиксации при отсутствии освещения.

Механизм симбиотической защиты характерен для клубеньковых бактерий. В корнях бобовых продуцируется легоглобин, выполняющий функции защиты от избытка кислорода.

Различают три типа азотфиксации:

- Свободноживущими бактериями самых разнообразных таксономических групп.

- Ассоциативная азотфиксация бактериями, находящимися в тесной связи с растениями (в прикорневой зоне или на поверхности листьев) и использующие их выделения (корневые выделения составляют до 30 % продукции фотосинтеза) как источник органического вещества. Азотфиксаторы живут в кишечнике многих животных (жвачные, грызуны, термиты) и человека (род *Escherichia*).

- Симбиотическая. Наиболее известен симбиоз клубеньковых бактерий (сем. *Rhizobiaceae*) с бобовыми растениями. Обычно происходит корневое заражение, но известны растения, образующие клубеньки на стеблях и листьях.

Созданы бактериальные удобрения (например, нитрагин) для инокуляции (заражения) штаммами клубеньковых бактерий семян бобовых культур, что увеличивает их урожайность. Также для стимулирования процессов азотфиксации полезно вносить в почву небольшие «стартовые» дозы азотных удобрений, в то время как большие их дозы подавляют процесс.

Первые diazотрофные бактерии были выделены ещё в XIX веке С. Н. Виноградским (1898) и названы в честь Луи Пастера – *Clostridium pasterianum*. А позже Бейеринк (1901) выделил первый аэробный азотфиксатор *Azotobacter chroococcum*. С. П. Костычев (1926) на примере азотобактера и растений табака показал существование ассоциативной азотфиксации.

Эти бактерии являются ещё и антагонистами многих возбудителей болезней растений, поэтому их использование позволяет осуществить биозащиту от фитопатогенов и улучшить плодородие почвы.

Бактофосфин – действующее вещество: штамм бактерий *Bacillus mucilaginosus* выделен из окультуренной почвы, депонирован коллекции промышленных микроорганизмов (N В-5987). Штамм культивируют на жидкой питательной среде, содержащей источник углерода и минеральные соли при

температуре $28\pm 1^{\circ}\text{C}$ в течение 48 ч с аэрацией. Выращенную культуру, содержащую 300 млн./мл спор и 0,2 г/л экзополисахаридов смешивают с бетоном и высушивают.

Использование: сельскохозяйственная микробиология и биотехнология, в частности получение бактериальных удобрений, а также экзополимера (биополимера)

Препарат используют для предпосевной обработки семян растений, вегетирующих растений, черенков плодовых и декоративных культур, а также вносят в почву. Это связано с тем, что в последние годы из-за существенного удорожания минеральных удобрений ведется активный поиск альтернативных способов обеспечения потребности растений в элементах питания. Среди наиболее перспективных направлений в решении данной задачи особое место занимает использование бактериальных удобрений. К числу биопрепаратов на основе азотфиксирующих бактерий относится и биопрепарат – бактофосфин (*Bacillus mucilaginosus*), обладающий способностью переводить недоступные для растений формы почвенного фосфора в доступные. Кроме того, как и другие, этот биопрепарат активизирует почвенную микрофлору, переводит в доступные формы из почвенного поглощающего комплекса такие элементы как калий, кремний и другие макро- и микроэлементы.

Препараты на основе грибов рода *Trichoderma*

Trichoderma – род грибов, который присутствует во всех почвах, где является наиболее распространенным. Многие его виды могут быть охарактеризованы как оппортунистические авирулентные симбионты растений.

Культура, как правило, быстро растёт при $25-30^{\circ}\text{C}$, но не приостанавливает рост при температуре 35°C . Колонии в начале являются прозрачными на средах, таких как кукурузно- декстрозный агар (ДА) или белый на богатых средах,

таких как картофельно- декстрозный агар (КА). Мицелий как правило, не очевиден на ДА, конидии обычно образуются в течение одной недели в компактные или рыхлые пучки в оттенки зеленого или желтого или реже белые. Жёлтый пигмент может быть погружён в агар. Некоторые виды дают характерный сладкий или «кокосовый» аромат. Конидиеносцы сильно разветвлены и часто формируют различные концентрические кольца или воздушные гифы (на бедных средах). В основном конидиеносцы формируются на боковых ветвях. Типичные для *Trichoderma* конидиеносцы с парными отрастками (рис. 18).

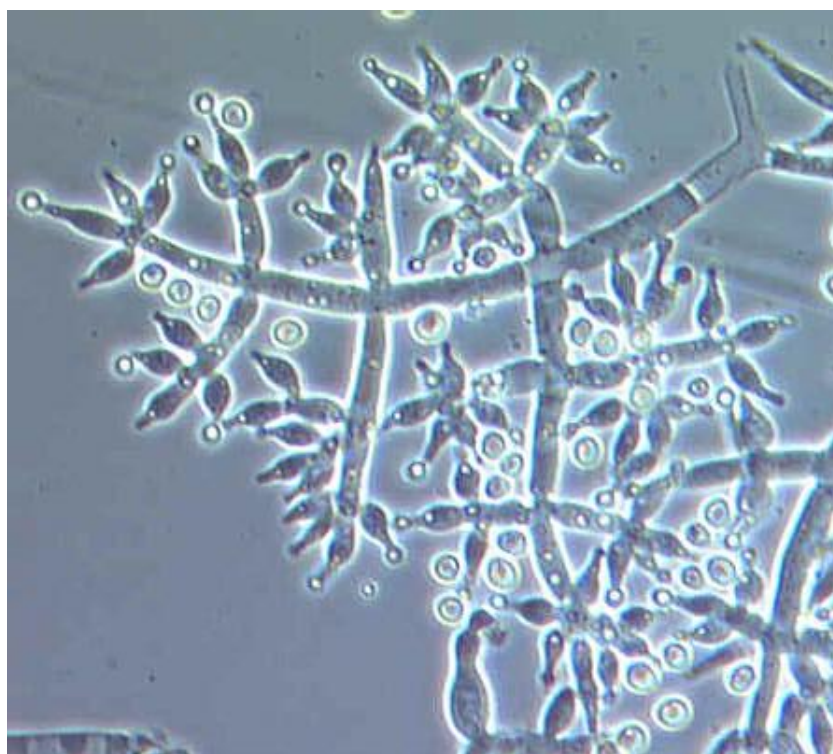


Рисунок 18 – Мицелий гриба с конидиеносцами *Trichoderma*

Обычно конидиеносцы заканчивается в одной или нескольких фиалидах. Фиалиды, как правило, увеличены в середине, но может быть цилиндрическими или почти почти шаровидными, чаще расположенными в мутовках, под углом 90°. Конидии большинства видов являются эллиптическими, обычно гладкие.

Род *Trichoderma* широко применяют в биологической защите растений от болезней. Большинство препаратов на его основе являются штаммами видов *T. harzianum*, *T. viride* и *T. hamatum*, *T. lignorum*

Триходермин воздушно-сухой состоит из спор почвенного гриба *Trichoderma lignorum* (около 10 млрд спор в 1 г) вместе с зерновым ячменным субстратом, на котором он вырос. Биологическое средство защиты и профилактики корневых инфекций комнатных цветов и декоративных растений, оздоровления почвы.

Препараты на основе энтомопатогенных микроорганизмов

Метаризин – биологический препарат на основе энтомопатогенного гриба *Metarhizium anisopliae*. Это вид энтомопатогенных грибов из семейства *Clavicipitaceae*. Естественно произрастает в почвах по всему миру и вызывает заболевания у различных насекомых, паразитируя на них (рис. 19). Известно около 200 видов насекомых, которые могут быть поражёнными этим грибом, из них, например, могут быть: колорадский жук, реликтовый дровосек, термиты и другие. Его часто используют как биоагент по борьбе вредителями культурных растений. Действующее начало – споры гриба *Metarhizium anisopliae* в количестве 10 млн. в 1 гр. препарата, наполнитель – остатки питательной среды. Применяется для защиты растений от проволочников, медведки и ряда других вредителей.



Рисунок 19 – Поражение насекомого метаризией

Боверин – биологический препарат в виде спор энтомопатогенного гриба *Beauveria bassiana*, поражает ряд насекомых с симптомами «засахаривания» (рис. 20). Для него предельно допустимая концентрация – $0,3 \text{ мг/м}^3$.



Рисунок 20 – Поражение насекомых боверией

Применяется в садах для борьбы со вторым поколением плодовой яблони, а с добавлением гардоны – против двух поколений плодовой яблони. Особенно хорошие результаты получают при применении боверина в смеси с малыми дозами инсектицидов, вызывающих физиологическое ослабление насекомых или, по нашим данным, с метаризином. Нами доказана (при широком производственном испытании) его вы-

сокая эффективность против вредной черепашки, свекловичного долгоносика, различных видов моли, лугового и стеблевого мотыльков, хлопковой совки, акациевой огнёвки, гороховой зерновки, яблонной и персиковой плодовой и других вредителей.

На лекарственных культурах разрешено применение бовверина против личинок крестоцветного листоеда на мачке желтом и против личинок колорадского жука на белене черной.

Bacillus thuringiensis — грамположительная, спорообразующая почвенная бактерия. Клетки и специфический кристаллический белковый δ -эндотоксин проявляют инсектицидное действие по отношению к гусеницам многих представителей насекомых отрядов Чешуекрылые и Жёсткокрылые, личинкам москитов, мошек, нематод. Используется в биозащите растений, при помощи гена эндотоксина (Срутоксина) осуществлена трансформация растений и получены ГМ растения, устойчивые к поеданию вредителями. Характерной морфологической особенностью является наличие кристаллов токсинов в цитоплазме, окрашиваемых красителем анилиновым чёрным. Хемоорганогетеротроф, факультативный анаэроб. Представляет собой крупную (5 x 1 мкм) палочковидную бактерию. Подвижны, образуют термоустойчивую спору, расположенную субтерминально. В центре клетки располагается кристалл токсина, прокрашивающийся красителем анилиновым чёрным (систематический признак). Кристалл токсина представляет собой агрегат, состоящий из высокомолекулярного белка (130-140 кДа). Является протоксином, необходима предварительная активация, практически нерастворим в воде (растворяется лишь в среднем кишечнике чувствительных видов насекомых при рН около 9.5) и является безопасным для всех позвоночных (включая человека) и большинства насекомых, проявляя высокую специфичность по отношению к насеко-

мому-хозяину. После растворения в кишечнике подвергается расщеплению протеазами с образованием активного δ -токсина с молекулярной массой 60 кДа. Активный токсин прикрепляется к мембранам эпителия среднего кишечника насекомых, вызывая уравнивание концентраций ионов снаружи и внутри клеток, что приводит к нарушению работы пищеварительной системы личинки, постепенно вызывая голодную смерть. Понижения pH кишечника личинок необходимо *B. thuringiensis* для создания благоприятных условий для своего развития и размножения в теле хозяина.

Бактерии и их очищенные энтомоцидные кристаллические токсины нашли применение в биозащите растений ввиду их высокой специфичности по отношению к насекомым-вредителям, отсутствием к ним привыкания, низкой опасности ввиду отсутствия биологических эффектов для позвоночных и насекомых, не специфичных по отношению к данному токсину, высокой технологичности. Разработаны ГМ-растения, несущие *cry*-гены и соответственно продуцирующие *cry*-токсины, обладающие высокой устойчивостью к насекомым-вредителям.

Условия для внесения микробиологических препаратов

Для внесения микробиологических препаратов в почву с участием ООО МИП «Кубаньагротех» при Кубанском госагроуниверситете разработан уникальный агрегат, включающий систему для опрыскивания, совмещенную с дискатором для одновременного их внесения и лущения стерни. Штанга с распылителями расположена перед дисковыми рабочими органами, что обеспечивает максимальное качество этого вида работы (рис. 21/Г). Однако практика показала, что ёмкость для рабочего раствора, установленная на

дискаторе быстро выходит из строя. В этой связи рекомендуется оборудовать её на тракторе (рис.21/II).

Использование других систем машин должно предполагать, что сразу после опрыскивателя необходимо производить заделку растительных остатков в почву, например такими орудиями как дисковые бороны, чтобы обеспечить анаэробные условия для бактерий антагонистов и уменьшить воздействие на них солнечных лучей. Это мероприятие нужно осуществлять в очень сжатые сроки (лучше одновременно) в пасмурную, дождливую погоду, ночью или в периоды восхода и захода солнца.



Рисунок 21/II – Переоборудованный под внесение микробиологических препаратов дискатор



Рисунок 21/II – Навеска ёмкости для рабочего раствора на трактор

Рисунок 21 – Агрегаты для обработки растительных остатков биопрепаратам с одновременной заделкой в почву

Для внесения биопрепаратов на посевы сельскохозяйственных культур используются опрыскиватели, наиболее предпочтительными из них – самоходные с большим клиренсом (рис. 22), так как защита высокорослых культур (таких как кукуруза и подсолнечник) иногда проводится в фазе цветения или даже начало налива семян. Кроме того, целесообразно оборудовать их навигаторами, так как необходимым условием их применения является ночное время суток или пасмурная, дождливая погода.



Рисунок 22 – Обработка посевов микробиологическими препаратами

Наработку биопрепаратов наиболее целесообразно проводить непосредственно в хозяйстве (для существенного снижения себестоимости, а также устранения влияния хранения и перевозки). Такое производство уже осуществляется в 8-ми хозяйствах Ростовской области, Краснодарского и Ставропольского краёв (рис. 23), где производят одновременно шесть биопрепаратов.



Рисунок 23 – Цех по производству биопрепаратов в группе компаний «Степь» (Краснодарский край)

Немаловажным аспектом применения биопрепаратов является системный подход к подбору по цепи питания и при отсутствии ярко выраженного антагонизма между используемыми микробами. Например, триходермин, азотобакт, фосфоробактерин, боверин и метаризин, подавляющие развитие грибных болезней, а также большинство насекомых-вредителей.

Следует отметить, что эффективность комплексной биозащиты может быть очень высокой (рис. 24). Причём проявляется пролонгированность их действия как к насекомым-вредителям, так и возбудителям болезней, таких как фомопсис (рис. 25).



Рисунок 24 – Результат биозащиты посевов подсолнечника



Рисунок 25 – Угнетение возбудителя фомопсиса подсолнечника
Комплексом микробиологических препаратов

**Контрольные вопросы к теме:
«МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРЕПАРАТЫ
В АГРОТЕХНОЛОГИЯХ»**

1. Использование микробиологических препаратов в агротехнологиях.
2. Препараты на основе псевдомонад для защиты растений от болезней в агротехнологиях.
3. Препараты на основе бактерий из рода *Bacillus* для защиты растений от болезней в агротехнологиях.
4. Фитоспорин для защиты растений от болезней в агротехнологиях.
5. Микробиологические препараты на основе почвенных микроорганизмов-антагонистов для защиты растений от болезней в агротехнологиях.
6. Молочнокислые и азотфиксирующие бактерии для защиты растений от болезней в агротехнологиях.
7. Препараты на основе грибов рода *Trichoderma* для защиты растений от болезней в агротехнологиях.
8. Микробиологические препараты для восстановления и повышения плодородия почвы.
9. Энтомопатогенные микроорганизмы для защиты растений от болезней в агротехнологиях.
10. Условия применения микробиологических препаратов в агротехнологиях.

6. ПЕСТИЦИДЫ

Пестициды (лат. *pestis* – зараза и лат. *caedo* – убиваю) (сельскохозяйственные ядохимикаты) – химические средства, используемые для борьбы с вредителями и болезнями растений, сорняками, вредителями зерна и зернопродуктов, древесины, изделий из хлопка, шерсти, кожи, с эктопаразитами домашних животных, а также с переносчиками опасных заболеваний человека и животных. Пестициды объединяют следующие группы веществ: гербициды, уничтожающие сорняки; инсектициды, уничтожающие насекомых-вредителей; фунгициды, уничтожающие патогенные грибы; зооциды, уничтожающие вредных теплокровных животных и т. д. Большая часть пестицидов – это яды, отравляющие организмы-мишени, но к ним относят также стерилизаторы (вещества, вызывающие бесплодие) и ингибиторы роста.

Пестициды относятся к ингибиторам (отравителям) ферментов (биологических катализаторов). Под действием пестицидов часть биологических реакций перестаёт протекать и это позволяет: бороться с болезнями (антибиотики), дольше хранить пищу (консерванты), уничтожать насекомых (инсектициды), уничтожать сорняки (гербициды). Пестициды применяются главным образом в сельском хозяйстве, хотя их используют также для защиты запасов продовольствия, древесины и других природных продуктов. Во многих странах с помощью пестицидов ведётся химическая борьба с вредителями лесов, а также переносчиками заболеваний человека и домашних животных (например с малярийными комарами).

Страны члены НАТО до сих пор не отказались от применения пестицидов в качестве химического оружия.

ГЕРБИЦИДЫ

Гербициды (от лат. *herba* – трава и *caedo* – убиваю) - это химические вещества, применяемые для уничтожения растительности. Они относятся к веществам, обладающим резко ингибирующим действием, что и ведёт к уничтожению сорной растительности.

Гербициды бывают органические и неорганические, последние используют для сплошного уничтожения растений.

Основой использования гербицидов является принцип избирательности их токсического действия. Важна видовая реакция сорняков и культурных растений на гербициды.

Гербициды могут проникать в растения через наземные или подземные органы. Их вносят в почву или разбрызгивают по листьям.

Первый этап их действия – способность химических средств проникать в растения в местах контакта. Второй этап – перемещение внутри растения, а затем накопление в определённых органах и тканях. Третий этап – накопление в определённых органах или разрушение до нетоксических соединений.

Современные гербициды – это, в основном, органические соединения, способные распадаться во внешней среде с образованием воды, углекислого газа, нитратов и сульфатов. Органические гербициды более избирательны. Избирательность действия гербицидов определяется химической составом, формой и дозами препарата, методом и сроками обработки посевов, фазами роста растений, их анатомическим и морфологическим строением, почвенно-климатическими условиями и т.д.

Различают биохимическую и топографическую избирательность гербицидов. При биохимической избирательности действие гербицидов основано на вмешательстве его в обмен веществ растений. Такая избирательность в большинстве случаев проявляется в неодинаковом превращении гербицидов. В устойчивых растениях они блокируются компонентами клеток и разлагаются до нетоксичных соединений или до токсичных, с последующей детоксикацией. У чувствительных растений гербицид или их угнетает (ингибирующее действие) или под влиянием компонентов клетки разрушается до токсических соединений, убивающих растения. Например, симазин и атразин в устойчивой к ним кукурузе разлагаются до нетоксических соединений, а в чувствительных (корневищевых многолетних сорняках) они не разлагаются.

Топографическая избирательность гербицидов связана с различиями в анатомо-морфологическом строении растений и способе внесения гербицидов. Топографической избирательностью объясняется различная чувствительность к гербицидам растений даже одного и того же вида.

Растения, произрастающие в тени на влажной, богатой питательными веществами и особенно азотом почве, вырастают более изнеженными и более чувствительными к гербицидам.

Растения могут быть с широкой и узкой избирательностью. Широкой избирательностью обладает, например, гербицид 2,4-Д, уничтожающий все двудольные растения, а узкой – пропанид, уничтожающий просьянки в посевах риса.

По характеру действия на растения они подразделяются на две основные группы: сплошные, действующие на все виды растений, и избирательные (селективные), поражающие только одни виды растений и относительно безопасные для других. Такое деление, конечно, условно, так как одни и те же вещества в зависимости от применяемых concentra-

ций и норм расхода на единицу обрабатываемой площади могут проявлять себя и как сплошными, и как избирательными препаратами.

По внешним признакам действия на растения и способам применения все гербициды подразделяются на три подгруппы: 1) контактного действия; 2) системного действия; 3) действия на корневую систему растений или прорастающие семена.

К гербицидам *контактного действия* относят вещества, поражающие листья и стебли растений при их непосредственном контакте с препаратом. В этом случае происходит нарушение нормальных процессов жизнедеятельности растения, и оно гибнет. Однако при использовании контактных гербицидов нередко наблюдается последующее отрастание новых побегов.

К гербицидам *системного действия* относят вещества, способные передвигаться по сосудистой системе растений. Попав на листья и корни растения, они быстро распространяются по всему растению, приводя его к гибели. Применение препаратов системного действия особенно ценно в борьбе с сорными растениями с мощной корневой системой и многолетними сорными растениями.

Третью группу гербицидов вносят в почву *для уничтожения семян, прорастающих семян и корней* сорных растений. В зависимости от характера действия препарат вносят для борьбы с нежелательной растительностью в следующие периоды: до посева культуры, до всходов сорных растений, до всходов культурных растений, после всходов культурных растений, в различные периоды вегетации.

Контактные гербициды (ДНОК, пропанид, грамоксон, пентахлорфенолят натрия), попав на растение, вызывают местное отравление участков ткани, которые быстро увядают, буреют и засыхают.

Системные гербициды (2,4-Д, 2М-4Х, симазин, атразин, монурон) способны передвигаться по сосудистой системе растений вместе с питательными веществами и продуктами обмена веществ, вызывая общее отравление (деформацию стебля и листьев растений, постепенное угнетение роста, хлоротичность, хрупкость листьев и стеблей, стерильность), что особенно ценно для борьбы с многолетними и имеющими мощную корневую систему сорняками

Контактные и системные гербициды наносят на листовую поверхность растений и вводят в почву.

Гербициды группы стимуляторов роста лучше действуют на более молодые ткани, прежде всего на точку роста.

Злаковые растения значительно легче переносят воздействие гербицидов, чем двудольные. Это определяется строением их листьев, на которых не задерживается гербицид. У злаков точка роста спрятана под обертками листьев и находится в основании стебля. У двудольных растений точка роста не защищена и находится сверху или в пазушной части листа. Строение камбиальной ткани двудольных растений, кроме того, таково, что оно способствует накоплению пестицида внутри растения, что приводит к увяданию.

Гербициды, которые действуют как ингибиторы фотосинтеза, используются в сельском хозяйстве с 50-х годов XX века. У растений, как правило, нет систем инактивации синтетических аналогов ауксинов (НУК, и особенно – 2,4-Д). При обработке растений этими соединениями происходит синтез антагонистов (прежде всего этилена) со всеми вытекающими последствиями, в том числе угнетение роста, пожелтение и сбрасывание листьев. Особенно неустойчивы к воздействию таких гербицидов двудольные растения, у которых быстро отмирают кончики корней. Это свойство позволило использовать синтетический ауксин – 2,4-Д в качестве гербицида, селективно убивающего двудольные растения. 2,4-Д нашёл применение везде, где основная возделываемая культура – злак.

ваемая культура – однодольное растение. На посевах пшеницы, ржи или кукурузы гербициды этой группы используют ограниченно (это вещество является «по совместительству» не только синтетическим ауксином, но канцерогеном, и мутагеном). В свою очередь, прямое или косвенное действие этих соединений на биологические сообщества может привести к накоплению различного рода мутаций и в результате – к изменению структуры природных популяций и исчезновению наиболее подверженных таким воздействиям видов растений.

Ранее мутагенное действие этих соединений было продемонстрировано на клетках костного мозга мышей, на дрозофиле, на ДНК клеток крови головастиков. В результате изучения действия зенкора на меристематические клетки ячменя установлено, что препарат негативно влияет на процесс образования клеточной перегородки при митозе.

При обработке растений молекулы гербицида проникают в растения через надземные органы. Поэтому их используют на посевах зерновых культур для послевсходовой обработки в фазе полного кущения, когда на основном стебле имеется 4-5 листьев. Именно в этот период гербицид практически не вызывает снижения урожая злаковой культуры и его действие в основном направлено на сорную растительность. Основная часть гербицидов, попавших на листья, проникает в растения в течение нескольких часов. Отметим попутно, что норма внесения гербицида составляет обычно в среднем 1 кг/га в расчете на активное начало, а на сорную растительность попадает не более 5% от этого количества.

На скорость проникновения оказывает влияние множество факторов: вид растения, температура и влажность воздуха, освещённость, препаративная форма гербицидов, наличие поверхностно-активных веществ. Рано или поздно молекулы гербицида преодолевают путь от поверхности листа до проводящих пучков. Скорость на этом участке пути не пре-

вышает 30 мкм/час. Далее они продолжают свой путь по флоэмной ткани уже с гораздо большей скоростью – до 100 см/час. Правда, покинуть лист и оказаться в других тканях и органах растения гербициду удастся не всегда. Это зависит от вида растения.

В отличие от сорняков пшеница и кукуруза весьма эффективно задерживают (иммобилизуют) различные гербициды в своих листьях. Перемещение в пределах растения гербицид завершает в зонах активного роста, в интенсивно растущих и делящихся клетках. Где он как ингибитор подавляют процессы окислительного фосфорилирования, синтеза нуклеиновых кислот, вызывают уменьшение содержания эндогенных ауксинов. Все это вызывает образование деформированных листьев, поврежденных репродуктивных органов и отмирание апикальных частей растений. Проявление ауксиновых свойств у некоторых гербицидов группы 2,4-Д приводит к повреждению тканей флоэмы, истощению листьев, нарушению целостности внешних покровов.

Хотя высокую избирательность действия обычно приписывают гербициду, однако это скорее заслуга самого культурного растения. Это оно не пускает в свои важные жизненные органы молекулы гербицида, переводит их в неактивную форму. Осуществляется всё это использованием набора защитных средств, прежде всего, благодаря анатомо-морфологическим особенностям злаковых растений раствор гербицида слабо удерживается на поверхности листьев. Это обусловлено тем, что их листья содержат больше восков, менее опушены и в фазе кущения расположены почти вертикально. Следующее очевидное различие между культурными и сорными растениями по отношению к гербицидам заключается в степени проникновения в листья. Пшеница и марь белая различаются в этом отношении почти в три раза. Кроме того, даже проникнув в листья злаков, гербицид не может проявить в полной мере свои гербицидные свойства,

потому что задерживается в них. Задержка гербицидов и их иммобилизация в листьях осуществляются разными способами. Существенную роль при этом играют адсорбция на определённых субстратах, образование комплексов с белками. Считается, что селективность действия гербицидов на культурную и сорную растительность обуславливается не одним из перечисленных факторов, а их суммарным проявлением. Причём доля влияния каждого из факторов различна у разных растений. Избирательность действия гербицида проявляется в том случае, когда сумма «факторов устойчивости» у одного растения значительно выше, чем у другого.

Систематическое и бездумное применение гербицидов для борьбы с сорняками на посевах злаков изменило видовой состав сорных растений. Широкое распространение получили виды сорной растительности, ранее имевшие второстепенное значение: вероника, ромашка непахучая, мать-и-мачеха, дымянка лекарственная, овсюг, подмаренник цепкий, райграсс, льнянка обыкновенная. Произошло не избавление от сорняков, а замена на полях одних их видов на другие, не восприимчивые к воздействию гербицидов. Широкое применение на протяжении многих лет гербицидов группы 2,4-Д и родственных препаратов привело к появлению адаптационных эффектов, совершенно аналогичных тем, которые связаны с распространением антибиотиков: появлению разновидностей сорняков, обладающих повышенной устойчивостью к ауксиноподобным гербицидам, да и ко многим другим.

Для повышения устойчивости культурных растений к гербицидам в настоящее время существует два основных подхода. Первый предполагает введение в геном растения гена, контролирующего синтез фермента, интенсивно разлагающего гербицид. Для этого необходимо сначала подобрать такой фермент, например, в каком-нибудь микроорга-

низме. При переносе такого гена, на примере растения канолы, устойчивость растения к гербициду возросла в десять раз. Ген нормально наследуется, более того, являясь доминантным, обеспечивает также гербицидоустойчивость гибридов. Аналогичные операции проводятся и на растениях сорго, сои, злаковых. Другой путь предполагает модифицировать системы, поражаемые гербицидами, таким образом, чтобы они приобрели устойчивость к нему. Растения, выращенные из обработанных гербицидами семян, менее устойчивы к стрессовым условиям, чем необработанные растения.

Применяемые против сорной растительности гербициды могут оказывать неблагоприятное воздействие и на культурные растения, модифицируя в первую очередь функционирование основных ион-транспортных систем внешней плазматической мембраны клеток.

Одним из путей повышения устойчивости растений к воздействию гербицидов является активация обменных процессов вследствие воздействия иммунизаторов и адаптогенов, повышающих устойчивость растений к стрессовым факторам окружающей среды. В последнее время для оптимизации продукционного процесса широко применяются различные, в большинстве случаев синтетические, физиологически активные регуляторы роста растений. Выбор регуляторов, нормы, сроков, и технологии их применения, должны быть научно обоснованы. На рынке пестицидов и агрохимикатов появились новые рострегулирующие препараты, которые обладают антистрессовыми свойствами.

Перспективно создание высокоэффективных регуляторов роста растений, иммунизаторов и адаптогенов, особенно комплексного действия, применяющихся в микродозах, быстро и полностью утилизирующихся в продуктах и средах, позволяющих одновременно повысить продуктивность, ка-

чество урожая и устойчивость к неблагоприятным условиям произрастания.

В настоящее время широкое распространение получили комплексные препараты, так называемые «агрохимические коктейли», в состав которых входят регуляторы роста растений с различными механизмами действия, химические средства защиты растений от болезней, вредителей, сорняков, поверхностно-активные вещества, облегчающие проникновение препаратов в растения. Совместное применение удобрений, пестицидов и регуляторов роста при возделывании озимой пшеницы приводит к увеличению урожайности до 30 % при сохранении и повышении качества продукции.

Известно, что сорная растительность оказывает негативное влияние, как на урожай, так и на его качество. Так как сорняки конкурируют в агробиоценозе с культурными растениями за источники питания и влагу.

Поскольку сроки обработки посевов ряда культур гербицидами и регулятором роста совпадают, целесообразно совместное их применение. В настоящее время при поиске новых типов синтетических регуляторов роста предъявляются повышенные требования к их качеству. У них не должно быть токсических метаболитов, мутагенных свойств, вредного влияния на почвенную микрофлору и обитателей водоемов, не должно создаваться экологической нагрузки на окружающую среду.

В настоящее время наиболее распространены следующие гербициды: 2,4-Д и ее соли и эфиры, алаз, ацетохлор, кломазон, бенсульфурон, бентазон, базагран, бромоксинил, галоксифоп, галактик супер, глифосат, дифос, доминатор, фозат, рап, космик, раундап, глифоган, глипер, торнадо, спрут, факел, аргумент, граунд, сангли, агриглиф, пилараунд, зеро, тотал, тайфун, глитерр, зевс, ураган, спрут, десмедифам, фенмедифам, бицепс, бетанал, секунда, секира, дикамба, логран, лонтрелл, ураган, банвел, римсульфурон, дикват, ре-

гулон, мерлин, имазамокс, имазапир, арсенал, грейдер, пивот, секатор, аврора, багира, центурион и ряд их аналогов.

Как уже отмечено, по характеру действия на растения они подразделяются на гербициды сплошного действия, убивающие все виды растений, и гербициды избирательного (селективного) действия, подавляющие одни виды растений и не повреждающие другие. Первые применяют для уничтожения растительности вокруг промышленных объектов, на лесных вырубках, аэродромах, железных и шоссейных дорогах, под высоковольтными линиями электропередачи, в дренажных каналах, прудах и озёрах; вторые – для защиты культурных растений от сорняков (химическая прополка). Такое деление условно, так как в большинстве случаев одно и то же вещество в зависимости от концентрации, норм расхода и условий применения может проявлять себя как гербицид сплошного или избирательного действия. Например, монурон и диурон в дозах 1,2-1,6 кг действующего вещества на 1 га уничтожают однолетние сорняки в посевах хлопчатника, а в более высоких дозах – всю растительность.

Глифосат является N-фосфонометильным производным аминокислоты глицина, что отражено в его тривиальном названии (*Гли-Фос-ат*). Впервые гербицидные свойства этих веществ были обнаружены американским исследователем компании Монсанто (Monsanto) Джоном Францем (1970). Торговое название глифосата – раундап (*Roundup* – круговая оборона, в честь круга из фургонов, из-за которого американские переселенцы отстреливались от индейцев). Раундап – гербицид «сплошного действия». Патент Монсанто на молекулу глифосата в 2000 году истёк, что привело к появлению на рынке ряда аналогов (например, TOP UP48 в Таиланде).

Механизм действия глифосата обусловлено тем, что этот гербицид ингибирует фермент растений 5-еноилпирувил-шикимат-3-фосфат-синтазу, который является компонентом

ферментной системы шикиматного пути биосинтеза бензольных ароматических соединений (содержащих бензольные кольца) и осуществляет одну из стадий превращения шикимата в хоризмат – предшественник трёх ароматических протеиногенных аминокислот (фенилаланина, тирозина и триптофана), парааминобензоата, терпеноидных хинонов (убихинона, пластохинона, филлохинона), ряда других важных метаболитов (фенолов, ароматических кислот, токоферолов, алкалоидов, фитогормонов), лигнинов и ряда других. Он занимает в активном центре фермента место фосфоенолпирувата и блокирует его активность. Поэтому при его внедрении в растение он проникает в клетки, блокирует синтез ряда необходимых соединений, и растение погибает.

Ранее считали, что животные получают перечисленные аминокислоты и прочие компоненты с пищей и потому эволюцией освобождены от необходимости их биосинтеза. Иными словами животные не имеют ферментной системы шикиматного пути, в том числе они не имеют 5-еноилпирувил-шикимат-3-фосфат-синтазу. Поэтому глифосат относили к малотоксичным для животных гербицидам, ($LD_{50} = 5600$ мг/кг). Однако по результатам современных исследований растения, обработанные глифосатом, небезопасны для человека. Так, раундап, применяющийся в объёме десятков тысяч тонн в год по всему миру, токсичен для ДНК человека даже при разведении его в 0,02%, которое в настоящее время используется при выращивании ГМ-культур. Многочисленные исследования уже выявили тот факт, что Раундап вызывает повреждение ДНК, не говоря уже о нарушении эндокринной системы, и возникновение рака. Исследования, проведённые Венским медицинским университетом, которые являются одними из первых, показали, что использование гербицида в низких концентрациях всё равно опасно. Наиболее чувствительными к цитотоксическим эффектам глифосата и повреждению ДНК оказались

клетки эпителия. Учёные обнаружили генотоксичность при коротком контакте с концентрациями 450-кратного разведения, которое используется в сельском хозяйстве. Даже вдыхание паров раундапа при опрыскивании может вызвать разрушение ДНК клеток. Другими словами, глифосат токсичен для человека, а адъювант (полиоксиэтиленамин) усиливает проникновение гербицида внутрь, что значительно усиливает общий эффект. При этом возникают неходжкинские лимфомы, гормональные нарушения у детей, повреждения ДНК, снижение уровня тестостерона, рак печени, менингит, бесплодие, рак кожи и почек. Кроме того, раундап является экологической угрозой для воздуха и воды, а особенно грунтовых вод. Исследования показали, что он фактически не разлагается после опрыскивания. Сельскохозяйственные почвы многих районов уже значительно загрязнены глифосатом.

Некоторые гены делают ГМО-растения более устойчивыми к влиянию мощных гербицидов, таких как раундап. Это позволяет сельскохозяйственным компаниям собирать огромные урожаи. Однако с течением времени некоторые так называемые «суперсорняки» выработали значительную устойчивость к раундапу. Это побуждает производителей увеличивать дозы гербицида. В настоящее время широко используются генетически-модифицированные семена растений, устойчивые к глифосату, известные как «Roundup Ready-культуры». В конечном итоге, такие Roundup Ready-растения используются для приготовления продуктов, которые мы покупаем в магазинах.

БАКТЕРИЦИДЫ

Бактерициды (от слова бактерии и лат. caedo – убиваю) - это вещества, убивающие бактерии. Известны также вещества бактериостатического действия, которые не убивают бактерии, а препятствуют их развитию. Многие бактерици-

ды активны против других микроорганизмов – грибов, водорослей, вирусов; в свою очередь фунгициды, например, нередко обладают бактерицидным действием. Бактерициды применяют как дезинфекционные средства, для обеззараживания воды, как антисептики, химиотерапевтические и дерматологические средства, для защиты материалов и изделий от биоразрушения, борьбы с бактериозами растений и разложением удобрений почвенными бактериями.

В качестве бактерицидов используют следующие группы химических соединений.

1. Вещества, в молекулах которых содержится активный атом Cl – гипохлориты, хлорная известь, ClO_2 , Cl_2 , дихлоризоцианурат Na, трихлоризоциануровая к-та, N-хлорсукцинимид, хлорамины, три- и пентахлормеламины и другие. Эти бактерициды малоизбирательны и применяются преимущественно для обработки воды и дезинфекции.

2. Иод, йодоформ (применяемые как антисептики), а также иодофоры – комплексы йода, чаще всего с неионными ПАВ.

3. Ароматические гидроксисоединения - фенолы, крезолы, хлорфенолы, бензил- и фенилфенолы, галогенсодержащие 2,2'-дигидроксидифенилметаны (ди-, тетра- и гексахлорофены) и анилидысалициловой кислоты. Применяются как дезинфекционные и антисептические средства; обладают высокой фунгицидной активностью.

4. Спирты – этанол, изопропанол, бензиловый и дихлорбензиловый спирты, 2-феноксизэтанол и другие. Применяются в основном как растворители и добавки для стабилизации различных препаратов.

5. Окислители – H_2O_2 , CH_3COOOH , $KMnO_4$, O_3 .

6. Альдегиды – глутаровый, формальдегид, а также соединения, его образующие (тригидроксиметилнитрометан, N-метилолаамиды, гексаметиленимин, 1,3,5-триалкил- и

1,3,5-три-(гидроксиэтил)гексагидро-сим-триазины и другие).

7. Соли и комплексные соединения серебра; соли ртути и ртутьорганические соединения (фенилмеркурборат, этилмеркуртиосалицилат Na и другие).

8. Четвертичные соли – C₁₂-C₁₄-алкилдиметиламмонийхлориды и ди(C₈-C₁₀-алкил)диметиламмонийхлориды.

9. C₈-C₁₀-алкиламины, гуанидины и бигуаниды, некоторые карбоксипроизводные 1,3-пропилендиамина и диэтилен-триамина.

К бактерицидам, применяемым в качестве химиотерапевтических средств, относятся антибиотики, сульфаниламидные препараты, амиды и тиамины пиридин- и пирозинкарбоновых к-т, производные 5-нитрофурана и оксихинолина, налидиксовая и оксолиниевая кислоты и т.п. (т.е. ротивомикробные средства). Эти вещества отличаются наибольшей специфичностью и малой токсичностью.

Действие большинства бактерицидов зависит от температуры и рН среды. Активность их в присутствии белков обычно снижается, на фоне ПАВ изменяется по-разному, например, анионные ПАВ усиливают действие спиртов и фенолов, не влияют на хлорамины и ослабляют действие четвертичных солей.

Особенности применения антибиотиков для защиты растений от бактериозов

Антибиотики - это биологически активные вещества, образующиеся различными организмами для антагонистического воздействия на другие организмы либо как средство патогенеза, либо для защиты организма от паразитов.

Применение антибиотиков в растениеводстве было рассмотрено недавно McManus et al. (2002). Но этот метод для лечения бактериальных заболеваний растений распростра-

нён меньше, по сравнению с применением их в медицине и ветеринарии. Ввиду их дороговизны, антибиотики используются в первую очередь на культурах с высокой стоимостью продукции, такие как плодовые, овощные и декоративные культуры. Стрептомицин, аминогликозид антибиотик, был основным антибиотиком, используемым в растениеводстве США. В Европе, стрептомицин либо не допускается к использованию, либо допускается лишь в чрезвычайных обстоятельствах, или же используется регулярно, в зависимости от страны. Стрептомицин используется для контроля различных патогенов *Pseudomonas syringae*. Окситетрациклин, антибиотик тетрациклин и гентамицин, аминогликозид антибиотик, которые используются для контроля *Pseudomonas spp.* на нескольких овощных культурах в странах Латинской Америки. В тоже время, они не широко применяются на зерновых культурах. В России к препаратам стрептомицинового ряда относится Фитолавин 300 (Борисова, 2009).

Появление стрептомицин-устойчивых патогенов определяет значительную сложность контроля бактериальных болезней растений. Устойчивость к стрептомицину найдена у *P. cichorii*, *P. syringae* pv. *lachrymans*, *P. syringae* pv. *rapulans* и *P. syringae* pv. *syringae* (McManus, 2002).

Ассортимент антибиотиков открытых в 40-е годы значительно возрос, и в настоящее время их известно более 3000. По характеру воздействия на патогенных бактерий их подразделяют на две группы – антибиотики бактерицидного и бактериостатического действия. Кроме того, эти вещества классифицируют по происхождению (продуценты бактерий, водорослей, грибов, лишайников, высших растений, животных) и механизму их действия. Из известных антибиотиков, применяемых в медицине, ветеринарии и защите растений примерно половина вызывает прямое ингибирование биосинтеза белка (на этапе трансляции), около 20 – ингибиру-

вание синтеза или функций нуклеиновых кислот, около 10% нарушают синтез бактериальной клеточной стенки, а остальные другие нарушения. Антибиотики могут нарушать целостность мембран микроорганизмов, вызывать деградацию бактериальной ДНК, изменять матрицу ДНК, ингибировать РНК-полимеразу, вводить аналоги нуклеотидов, нарушать синтез белка, репликацию ДНК в клетках прокариот и синтез их клеточной стенки (таблица 1).

Таблица 1 – Пути подавления сверхчувствительной реакции в листьях табака, приводящей к патологическому хлорозу, вызванной *Pseudomonas syringae* pv. *psis* (Sigeo, 2005)

Биохимическое действие	Ингибирование	Эффективные антибиотики
Нарушение целостности мембраны	+	Цетримид, полимиксин
Введение аналогов нуклеотидов	+	Туберицидин
Деградация ДНК	+	Митомиксин-С
Изменение матрицы ДНК	+	Этидиум-бромид, профлавин, акрифлавин
Ингибирование РНК полимеразы	+	Рифамицин, стрептова-рицин
Репликация ДНК	–	Фенетанол
Синтез белка	+	Хлорамфеникол, канамицин, тетрациклин
Синтез клеточной стенки	–	Ампициллин, бацитрацин

Систематизируют антибиотики и по химическому строению (хиноны, алкалоиды, аминогликозиды, стероиды, тетрациклины и др.), спектру действия (антибактериальные, широко специализированные, фунгицидные и др.).

Используемые для защиты растений в России антибиотики *фитолавин 300* и *фитоплазмин* (производитель фирма

«Фармбиомед», Россия, г. Москва), являются специфическими ингибиторами, действуя на биосинтез белка бактерий, блокируя его заключительный этап – трансляцию.

Для безошибочного применения этих средств защиты растений целесообразно представлять механизм их защитного действия. Механизм действия антибиотиков аминогликозидов, входящих в состав препарата *фитолавин 300* заключается в ингибировании 30-с субъединицы прокариотической рибосомы.

Так, например, стрептомицин, присоединившись к этой субъединице, мешает выполнению трансляционной функции рибосом. Это приводит к нарушениям в образовании полипептидных цепей (ингибирование их синтеза на и-РНК, подавление включения в состав полипептида некоторых аминокислот, таких как фенилаланин, ошибки трансляции, подавление терминации). Наряду со стрептомицином сходными действиями обладают и другие аминогликозиды: дегидрострептомицин, блуэнзомицин, неомицины, канамицины, паромицины, канендомицин, гентамицин, небрамицин, касугомицин. Структурные формулы большинства из них приведены в конце раздела (рис. 26).

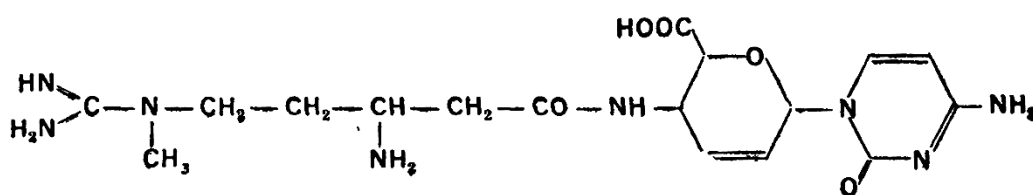


Рисунок 26а – Структурная формула бластидина

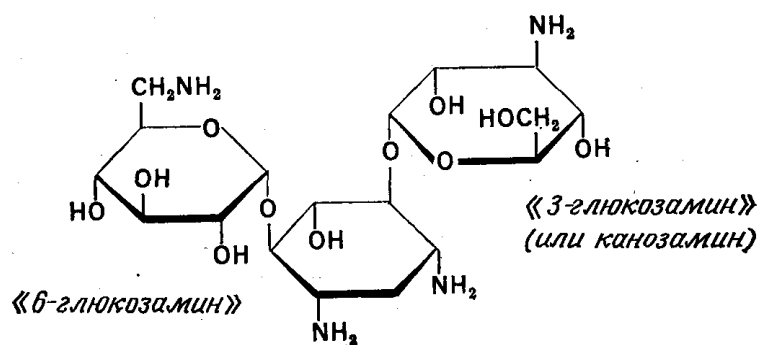


Рисунок 26б – Структурная формула канамицина А

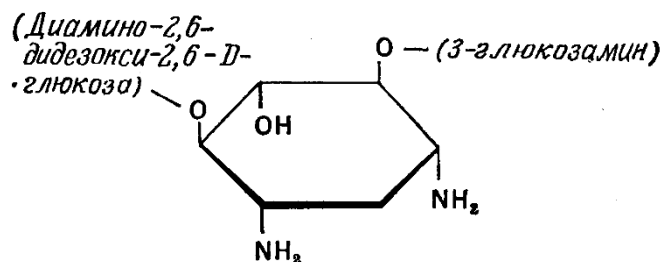


Рисунок 26в – Структурная формула канамицина В

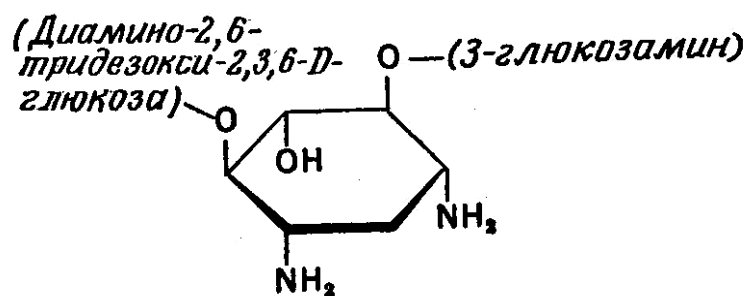


Рисунок 26г – Структурная формула небрамицина

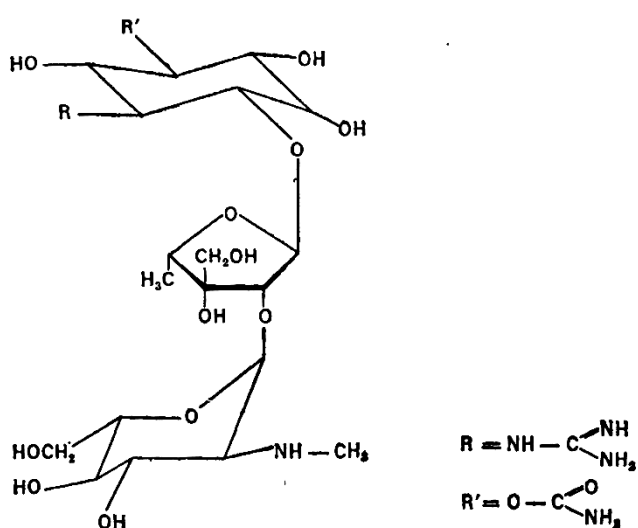


Рисунок 26д – Структурная формула блэнзомицина

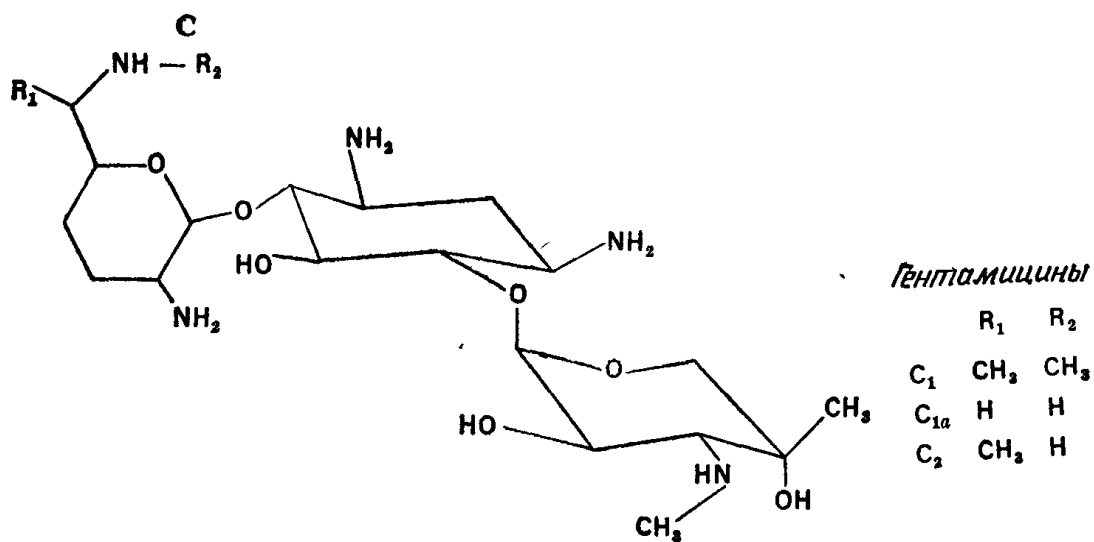


Рисунок 26е – Структурная формула гентамицина С

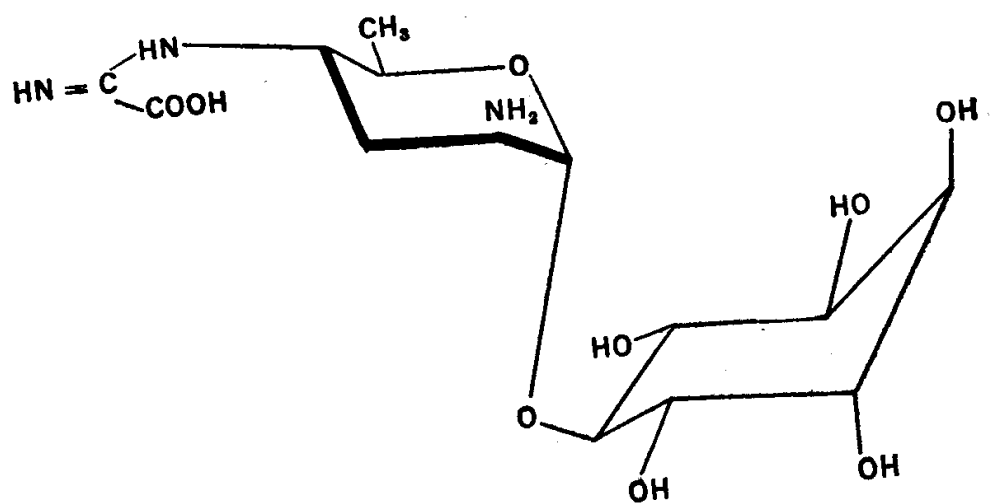


Рисунок 26ж – Структурная формула касугамицина

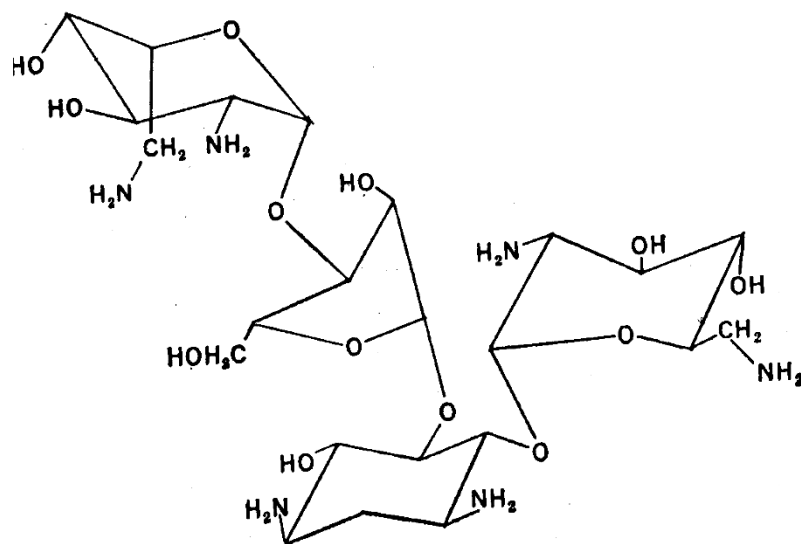


Рисунок 26з – Структурная формула неомицина В

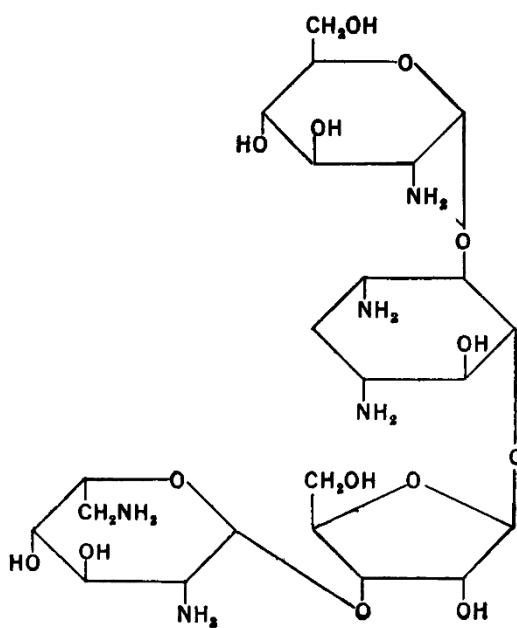


Рисунок 26и – Структурная формула паромомицина

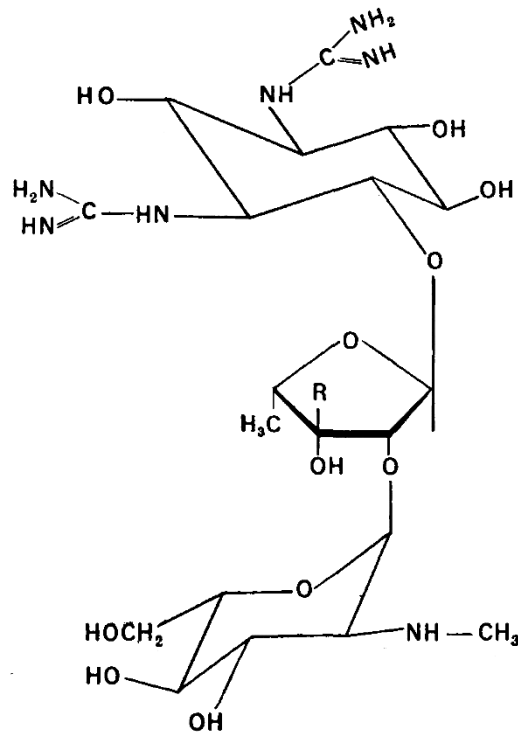


Рисунок 26к – Структурная формула стрептомицина

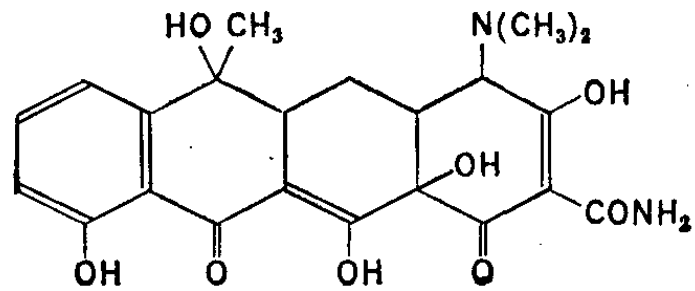


Рисунок 26л – Структурная формула тетрациклина

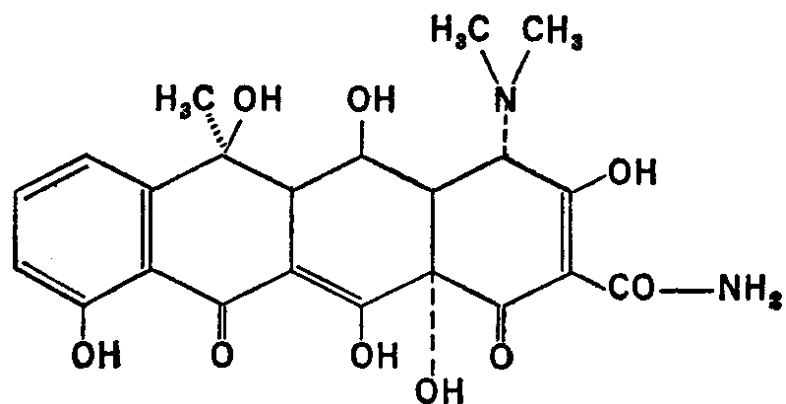


Рисунок 26м – Структурная формула окситетрациклина

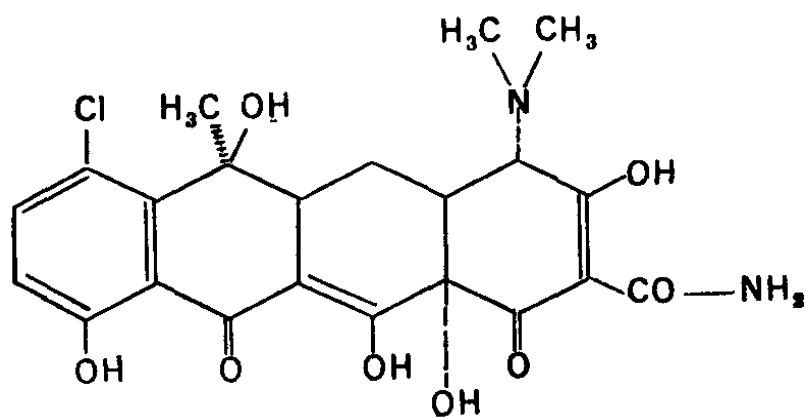


Рисунок 26н – Структурная формула хлортетрациклина

Рисунок 26 – Структура различных антибиотиков, ингибиторов трансляции при синтезе белка (Chapeville, 1974)

Основной механизм действия тетрациклинов заключается в подавлении присоединения аминоацил-т-РНК к А-участку (акцепторному, или связующему, участку), что приводит к блокировке элонгации полипептидной цепи. Все это происходит за счет образования комплекса тетрациклина с рибосомой. Кроме того, тетрациклин ингибирует терминацию полипептидных цепей.

В тоже время, отмеченные выше антибиотики не ингибируют биосинтезу белков цитоплазмы эукариотов так как они не действуют на эукариотические 80-с субъединицы рибосом. Вместе с тем, длительное их воздействие может привести к угнетению 30-с субъединицы рибосомы митохондрий, что приводит к постепенному уменьшению числа этих органелл в растительной клетке, а это также губительно.

Обнаружено, что несколько разных классов антибиотиков, оказывающих воздействие на совершенно разные бактериальные мишени, убивают микробов, повреждая ДНК. Действие антибиотиков, то есть веществ, специфически убивающих микробы, основано на больших различиях между бактериями и животными. Антибиотики связываются только с бактериальными мишенями и не дают микробам синте-

зировать белки (аминогликозиды), ДНК (хинолоны) или клеточную стенку (бета-лактамы). Эти механизмы кажутся совсем не связанными друг с другом, но учёные выяснили, что все три класса веществ убивают бактерии одним и тем же способом: они вызывают накопление в клетке неправильных нуклеотидов. Доказано, что действие трёх разных классов антибиотиков приводит к образованию большого количества активированных форм кислорода (радикалов), а это приводит к образованию испорченных нуклеотидов, которые встраиваются в ДНК, что и вызывает включение системы исправления ошибок. Именно эта система (в норме необходимая организму) вносит разрывы в ДНК и убивает бактерии. При синтезе ДНК используется специфический фермент контролирующий не только правильные строительные материалы — нуклеотиды А Т Г и Ц, но может также использовать испорченный окислением вариант G (8-оксо-dG). Поэтому, внося поврежденные нуклеотиды, этот фермент часто ошибается и вместо правильных пар между цепями ДНК (А-Т и G-С) образуются неправильные (“испорченный G”-А). Клетка умеет исправлять внесенные ошибки — существуют специальные ферменты, которые вырезают один из нуклеотидов такой пары, и заменяют его на правильный. Однако система исправления ошибок может справляться только с небольшим их количеством. Если ошибок становится слишком много, то это приводит к гибели клетки. Так как когда неправильно спаренных нуклеотидов становится слишком много, исправляющие ферменты вырезают очень много испорченных букв и фактически разрывают ДНК на куски. Клетка с разорванной ДНК не способна делиться и в конце концов гибнет. Поэтому, когда в клетке синтезируется большое количество DinB (имеющего тенденцию вносить испорченные нуклеотиды), или когда таких нуклеотидов просто становится очень много (из-за

воздействия антибиотиков) и они попадают в ДНК и без DinB, то всё это приводит к гибели бактерии.

Многие антибиотики синтезируют искусственно. Условные единицы антибиотической активности выражают в единицах массы, то есть 1 мг чистого стрептомицина соответствует 1000 единиц.

Антибиотики широко применяются в целях защиты растений во многих странах мира. Так в США широко распространены такие антибиотики как стрептомицин, окситетрациклин и касугамицин. Их выпускают в виде смесей стрептомицина, тетраамицина и других под различными наименованиями препаратов (*агримицин 100*, *агристреп*, *фитомицин*, *аккострептомицин* и другие). Среди новых антибиотиков перспективными являются казидомицин, гризеофульвин, цитовиридин и валидомицин. Эти вещества используются здесь в плодоводстве, овощеводстве, защите декоративных растений. Например, в 1995 году для этих целей было внесено более 11 т стрептомицина и 6 т окситетрациклина для защиты 20% площади под плантациями яблони, 35 ... 40% – персика и 4% – груши.

В Японии против пирикуляриоза риса вносится антибиотик *бластидин-S* (бластомицин), производство которого до 40 т в год, а для защиты пасленовых овощей, фасоли, сахарной свеклы, яблони и груши производится антибиотик *касугамицин*, который, угнетая инициацию при трансляции полипептида в рибосоме, нарушает синтез белка, что приводит к ингибированию прорастания спор патогенов. Его производство достигало 20 т в год.

В Канаде для подавления ржавчины злаков посевы обрабатывают антибиотиком *P-49*, а в Индии против грибковых болезней хлопчатника и риса – *ауреофунгин* (до 100 т в год).

В России изучается высокоэффективный препарат против бактериозов абрикоса и других культур – *гризин* и, как уже отмечалось, группой компаний «Фармбимед» разработаны

высокоэффективные антибиотические препараты, выпускаемые фирмой «Фармбиомедсервис» – *фитолавин 300* и *фитоплазмин*, которые широко испытываются в производстве, а в 2005 году были внесены в список пестицидов и агрохимикатов.

Следует отметить, что в растениеводстве недопустимо использовать те антибиотики, которые употребляются в медицине. Это связано с приобретением резистентности болезнетворными бактериями, вызывающими заболевания у человека. Хотя проблема резистентности фитопатогенных бактерий к различным бактерицидам существует и в практике защиты растений (Горленко, 1966). А недавно у микробов, изолированных от действия человека в пещере более 4 миллионов лет были обнаружены гены устойчивости к самым современным антибиотикам.

Фитолавин 300. Его действующим веществом (д. в.) является фитобактериомицин – продуцент актиномицетов *Streptomyces lavendulae*, то есть комплекс антибиотиков аминокликозидов (стрептотрицин). Выпускается в виде препаративных форм – *фитолавин 300*, СХП и *фитолавин, ВРК*.

Фитолавин 300, СХП – сухой порошок желто-зеленого цвета с характерным запахом. Биологическая активность – 300000 ед./г. Срок хранения 2 года, в сухом темном месте, при температуре -30 ... +40⁰С.

Фитолавин, ВРК – жидкость коричневого цвета, представляет собой маточный раствор препарата *фитолавин 300, СХП* с добавлением веществ, стабилизирующего действия. По биологическим свойствам он аналогичен *фитолавину 300, СХП*, а по технологическим – *фитолавин ВРК* существенно его превосходит за счет удобства в применении.

Срок хранения менее года, его целесообразно применить в течение 1 ... 3 месяцев. Причем, учитывая его консистен-

цию, хранение при отрицательных температурах не рекомендуется.

Спектр действия препарата: бактерицид с фунгицидными свойствами. Он высокоэффективен против бактерий из родов: *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Erwinia*, *Clavibacter*, *Ralstonia*, вызывающих корневые, слизистые, сосудистые и листовые бактериозы. Подавляет возбудителя снежной плесени, парши плодовых, снижает поражение мучнистой росой и фитофторозом. Является стимулятором роста. Это препарат системного действия, поэтому защитный эффект на растение он оказывает в течение 15 ... 20 дней, а начинает воздействовать через 12 ... 24 час. Он совместим в баковых смесях с гербицидами, инсектицидами и фунгицидами. Не совместим с биопрепаратами на основе живых культур микроорганизмов, которые можно применять не ранее, чем через 3 ... 4 суток после *фитолавина300*, срок ожидания – 7 дней. В растениях он распадается до безопасных для человека соединений и не накапливается.

В почве быстро сорбируется и дезактивируется, не проникая в грунтовые воды. В рекомендованных дозах он не токсичен для энтомофагов и насекомых-опылителей. По токсикологической характеристике относится к 3-му классу опасности. Широко применяется для защиты растений защищенного грунта, овощных, плодовых, ягодных, полевых и декоративных культур от целого ряда бактериальных и некоторых грибковых болезней (кроме фитоплазмозов), а также зерновых колосовых культур, где проявил высокую биологическую и экономическую эффективность (см. главу 8).

Фитолавин-300, СХП имеет следующие особенности применения: в начале готовят маточный раствор путем растворения необходимого количество препарата в 10 частях теплой воды, тщательно перемешивая, затем настаивают в течение 2 или более часов (целесообразно это сделать на

ночь), после чего, не вызывая помутнение (осадок не трогать), профильтровать (процедить через сито, или марлю). В противном случае может произойти засорение распылительных головок.

Фитолавин, ВРК заливается непосредственно в опрыскиватель или протравочный агрегат, что очень удобно для технологов.

Следует отметить сильную сторону *фитолавина 300* – это наличие в препарате комплекса антибиотических веществ, что обеспечивает ему избегание привыкания фитопатогенных бактерий, то есть появления устойчивых к антибиотику мутантных популяций микроорганизмов. Его применяют путем протравливания семян, опрыскиванием, подливом под корень.

Фитоплазмин, ВРК (20%, 200г/л). Его д. в. антибиотический комплекс, в составе которого имеются тетрациклины, продуцируемый *Streptomyces fradiae*, это системный препарат бактерицидного и фитоплазматического действия. Его применение против бактериозов, особенно в защищенном грунте, целесообразно чередовать с *фитолавином 300*, что снижает риск появления резистентных к антибиотику форм патогенных бактерий. Особо следует отметить его высокую эффективность против опасной фитоплазменной болезни – столбура томатов и других пасленовых (в том числе баклажана и перца).

Препарат совместим с инсектицидами и фунгицидами, кроме веществ, обладающих сильной щелочной реакцией. Применяется путем опрыскивания и подлива под корень (в основном в защищенном грунте), с капельным поливом. Период защитного действия 3 ... 4 недели. Через 4 дня после применения бактерицидов рекомендуется внесение под корень бактериальных препаратов: *планриз* и *бактофит*, а также комплексных микробиологических препаратов *биофит 1*. Нормы расходов препарата *фитоплазмин* диффе-

ренцированы и зависят от способа внесения, степени развития болезни, возбудителя.

Характеристика химических бактерицидов

Фунгициды на основе меди. Поскольку использование антибиотиков ограничено в большинстве европейских стран, фунгициды на основе меди являются единственным эффективным соединением, имеющимся в распоряжении агротехнолога для контроля бактериальных болезней растений. Использование меди, однако, имеет ряд недостатков. К их числу относится фитотоксичность, а также возникновение резистентности бактерий к этим соединениям. Hwang et al. (2005) недавно показал что большинство штаммов *P. syringae* устойчивы к соединениям меди.

Бордоская жидкость (бордоская смесь). Широко используется на виноградниках, в садоводстве и овощеводстве. Ее формула – $\{Cu(OH)_2\} \times CaSO_4$. В Великобритании ее применяют в смеси с касугамицином. Несмотря на то, что этот препарат употребляется в практике защиты растений уже более 100 лет, его значение еще не утратило своей актуальности, так как он играет существенную роль для предупреждения возникновения устойчивости вредных организмов к различным препаратам путем их чередования в интегрированной системе защиты.

Соединения йода. Применение йода для защиты зерновых колосовых культур от фитопатогенных бактерий, впервые начата в России (Котляров, 2008, 2009, Борисова, 2009)

Фармайод. Препарат на основе органической формы йода. Выпускается фирмой «Фармбиомед» в виде высоко вязкой жидкости (с концентрацией йода 10%) в пластиковых флаконах по 500 и 1000 мл, канистрах по 5 л. Срок хранения 2 года. Обладает сильным бактерицидным, фунгицидным и противовирусным действием. Однако его применение мо-

жет приводить к некоторому угнетению растений, поэтому для его широкого внедрения следует не превышать дозу внесения. Испытывается в качестве препарата для протравливания семян против комплекса болезней. Концентрация раствора варьирует, в зависимости от чувствительности к йоду культурных растений, в пределах 0,01 ... 0,03%. Оптимальная концентрация на зерновых – 0,02% с нормой расхода рабочей жидкости 10 л на 1 т семян. Йодистый калий, в составе препарата Фармайод – высоко активный природный ингибитор, к которому не вырабатывается резистентность. В тоже время наряду с его ингибирующим действием на фитопатогены, в том числе на грибные и бактериальные инфекции, он оказывает ингибирующее действие на растение. Работа по поиску концентрации, при которой йод будет оказывать летальное или наиболее токсичное воздействие на фитопатогены и наименее угнетающее действие на растение и стало одной из целей наших исследований. Результаты опытов показали, что наиболее эффективна была концентрация 0,02%. Концентрация 0,01% не оказывала эффективного воздействия на патогены, а при концентрации 0,03% растения озимой пшеницы значительно угнетались. Так, всхожесть поражённых бактериозом семян озимой пшеницы под влиянием различных концентраций препарата Фармайод, снижалась при концентрации 0,01% из-за низкой эффективности препарата, а при 0,03% – из-за высокой фитотоксичности, составляя 60% и 68% соответственно, тогда как на контроле всхожесть была на уровне 72%. В тоже время, под воздействием этого препарата в концентрации 0,02% всхожесть семян увеличилась до 83% (рис. 27).

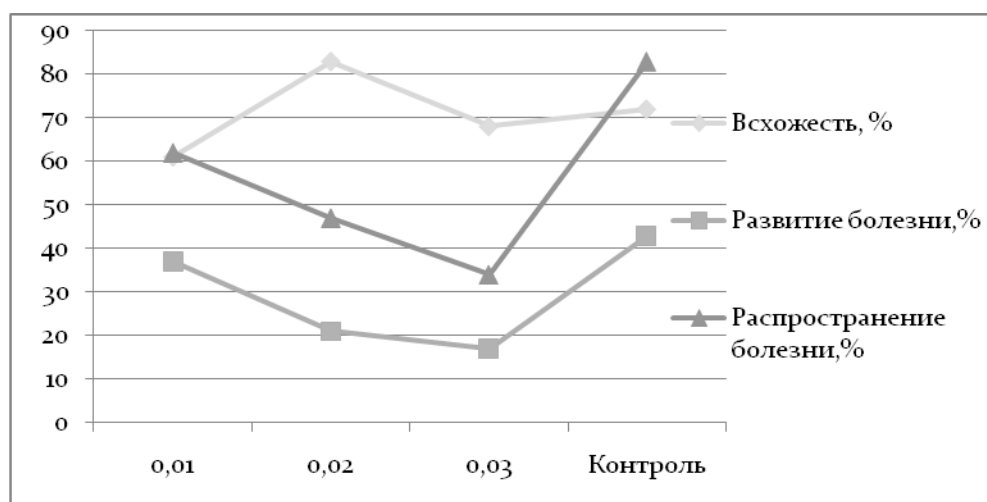


Рисунок 27 – Влияние различных концентраций препарата Фармайод на всхожесть инфицированного бактериозом зерна озимой пшеницы сорта Зимородок и поражение проростков бактериозом (среднее по 3-м опытам)

Аналогичная тенденция наблюдалась по величине биометрических показателей проростков (сухая масса ростка и корешка). Причём вариант с применением Йода более чем на 80% превосходил показатели на контроле, на 50% и 68% превосходил вариант с концентрацией 0,01%, а также на 40% и 76% – вариант с концентрацией 0,03% (рис. 28).

Из этого можно сделать следующий вывод, что наиболее оптимальной концентрацией Фармайода для обработки семян растений против бактериальной инфекции является 0,02%, при этом эффективно подавляются фитопатогенные бактерии и проявляется наименьшая фитотоксичность.

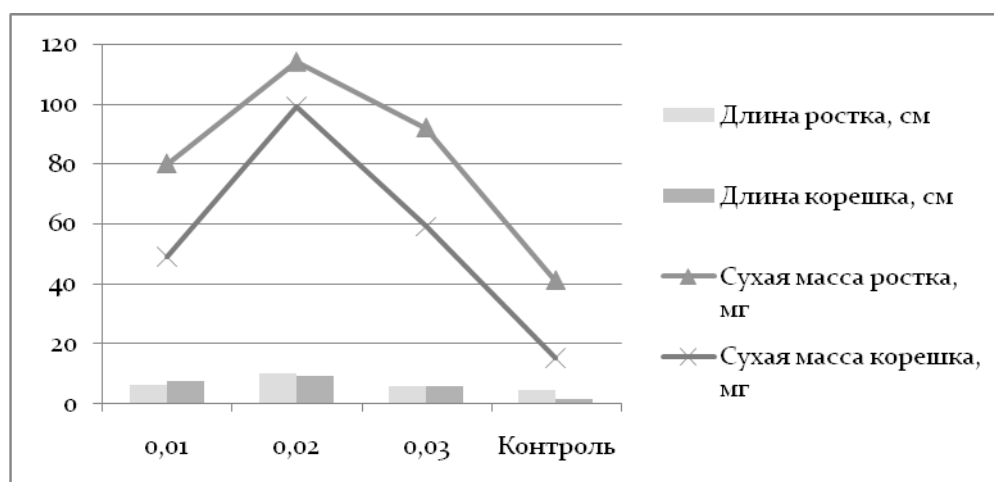


Рисунок 28 – Влияние различных концентраций препарата Фармайод на биометрические показатели проростков озимой пшеницы сорта Зимородок

Для снижения ингибирующего действия йода на растения нами были испытаны несколько стимуляторов роста (в том числе Гумат калия), однако наибольшую эффективность проявил препарат Мелафен (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние препарата Фармайод в баковой смеси со стимулятором роста Мелафен, на биометрические показатели растений и урожайность зерна (2009-2010)

Вариант опыта	Высота растений, см	Индекс кустистости	Длина колоса, см	Колосков в колосе, шт	Масса 1000 семян, г	Урожай зерна, ц с 1 га
Йод (0,02% раствор)	92	2,6	10,5	21,3	44,9	76,3
Йод + Мелафен	96	4,1	12,4	22,3	45,2	84,9
Йод + Гумат	93	3,7	11,6	21,6	45,0	81,2
Контроль (H ₂ O)	90	3,3	10,8	21,4	44,9	76,8

Выступая в формате антидепрессанта, Мелафен позволил решить проблему токсичности Йода для растения и вывести эффективность этого препарата на уровень эффективности антибиотиков из группы стрептомицина. Так, прибавка урожая в варианте с применением баковой смеси препарата Фармайод и Мелафен превосходила показатели на контроле на 5,1 ц с 1 га, тогда как вариант с применением только препарата Фармайод показал результат на уровне контроля, ввиду фитотоксичности йода. Индекс кустистотости на контроле был 3,3, в варианте с применением йода – 2,6, а в варианте с применением комбинации йод+мелафен – 4, т. е. эти варианты превысили контроль 20 и 37% соответственно. Кроме того, была установлена возможность применения Метионина в баковой смеси с препаратом Фармайод для снижения его фитотоксичности за счёт усиления клеточного метаболизма растения, в том числе биосинтеза белка. Так, в лабораторных опытах обработка семян баковой смесью препаратов Фармайод и Метионин путём протравливания привела к существенному снижению распространённости бактериальной корневой гнили и повышению всхожести семян озимой пшеницы (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние препарата Фармайод в баковой смеси со стимулятором роста Мелафен, на степень поражения бактериальной корневой гнилью, всхожесть семян и биометрические показатели проростков

Вариант опыта	Распространённость бактериальной корневой гнили, %	Всхожесть семян, %	Длина, см	
			корня	ростка
Йод (0,02% раствор)	3	85	8,1	7,3
Йод+Мелафен	3	95	9,8	11,6
Йод+Метионин	3	91	10,0	10,1
Йод+Гумат К	3	89	9,7	11,0
Контроль(H ₂ O)	45	76	7,4	6,7

Результаты этого опыта показали, что степень поражения семян бактериальной корневой гнилью составляла 45%, а по действием препарата Фармайод (в том числе в сочетаниях с Мелафеном и Метионином) она снизилась до 3%. Кроме того, применение его в баковой смеси с препаратом Мелафен и Метионином, позволило значительно снизить фитотоксичность и добиться высоких показателей всхожести семян (95 и 91% соответственно). Улучшились также и биометрические показатели – длина корешка +2,4-2,6 см, а длина ростка +4,9-3,4 см, по отношению к контролю. Это свидетельствует о высокой бактерицидной активности и эффективности применения препарата Фармайод в смеси с препаратами Мелафен и Метионин. Надо отметить, что эти препараты применяются в ультрамалой дозе – 0,02% и 0,001%, что не маловажно в рассмотрении вопроса экологичности и практичности их применения.

В дальнейшем уже разработанный способ применения йода мы опробовали в сочетании обработки семян и растений препаратом Фармайод в баковой смеси с препаратом Мелафен, в различных сочетаниях с бактерицидным препаратом Фитолавин 300, добившись большей эффективности при применении комбинации Йод+/Йод+ (обработка семян/обработка посевов), где урожайность достигла 51,6 г/м², по сравнению с комбинацией Фитолавин 300/Фитолавин 300, где урожайность составила лишь 49 ц/га (табл. 4).

Таблица 4 – Урожайность зерна (ц с 1га), под влиянием бактерицидов (2009-2010)

Обработка семян	Обработка по вегетации		
	Йод+	Фитолавин	Контроль
Фитолавин	42,1	49,0	24,5
Йод+	51,6	49,0	27,0
Контроль	31,0	42,0	21,0

(Йод+ - препарат Фармайод в баковой смеси с препаратом Мелафен)

Витавакс 200, СП – фунгицидный препарат бактерицидного действия для протравливания семян хлебных злаков, кукурузы, кориандра, рапса, льна-долгунца и семенного картофеля.

Действующее вещество: карбоксин + тирам (375+375 г/кг).

Регламент применения. Протравливание семян пшеницы, ячменя, кориандра и рапса, с нормой расхода рабочей жидкости –

10 л/т, кукурузы – 5 л/т, льна-долгунца – 3...5 л/т и с нормой расхода препарата: пшеница, ячмень и кориандр – 3 кг/т; рапс – 2...3 кг/т, кукуруза – 2 кг/т, лен-долгунец – 1,5...2 кг/т. Клубни семенного картофеля протравливаются перед посадкой с нормой расхода препарата 2 кг/т.

Витавакс 200 ФФ, ВСК – фунгицидный препарат бактерицидного действия для протравливания семян хлебных злаков, кукурузы, просо, льна-долгунца.

Действующее вещество: карбоксин + тирам (200+200 г/л).

Регламент применения. Протравливание семян с расходом рабочей жидкости: на хлебных злаках – 10 л/т, кукурузе и льне-долгунце – 5 л/т, просо – 10 ... 15 л/т и нормой расхода препарата: на хлебных злаках 2...3 л/т, кукурузе – 2 ... 2,5 л/т, просо – 4 л/т, льне-долгунце – 1,5 ... 2 л/т.

Фенорам супер, СП – фунгицидный препарат бактерицидного действия для протравливания семян просо, льна-долгунца и клубней картофеля.

Действующие вещества: карбоксин + тирам (470 + 230 г/кг).

Регламент применения. Расход рабочей жидкости при протравливании семян пшеницы и ячменя – 10 л/т, просо – 15 л/т, льна-долгунца – 3 ... 5 л/т и с нормой расхода препарата: пшеница и ячмень – 1,5 ... 2 кг/т, просо и лен – долгу-

нец – 2 кг/т. Клубни картофеля обрабатываются перед посадкой с нормой расхода 2 кг/т.

Витарос, ВСК – фунгицидный препарат бактерицидного действия для протравливания семян пшеницы и ячменя, а также посадочного материала цветочных культур.

Действующее вещество: карбоксин + тирам (198+198 г/л).

Регламент применения. Протравливание семян с расходом рабочей жидкости 8 ... 10 л/т, и нормой расхода препарата 2,5 ... 3 л/т (свежеубранные семена протравливаются не позднее 2 ... 5 дней до посева). Обработка посадочного материала цветочных культур перед посадкой и закладкой на хранение 0,2% рабочим раствором препарата с экспозицией – 2 час.

Витасил, СК – фунгицидный препарат бактерицидного действия для протравливания семян пшеницы.

Действующее вещество: карбоксин + тирам (192+192 г/л).

Регламент применения. Протравливание семян с нормой расхода рабочей жидкости – 8 ... 10 л/т и нормой расхода препарата 2,5 ... 3 л/т (свежеубранные семена обрабатываются не позднее, чем за 2–5 дня до посева).

ТМТД, СП – фунгицидный препарат бактерицидного действия. Применяется для протравливания семян пшеницы, ржи, сорго, кукурузы, гречихи, конопли, подсолнечника, кенафа, эспарцета, клещевины, кориандра, арахиса, дыни, арбуза, гороха, фасоли, клевера, вики, чины, люцерны, маша, сои, люпина, нута, чечевицы, бобов кормовых, периллы, свеклы, льна-долгунца, алтея лекарственного, календулы, подорожника большого, белены черной, огурца, томата, капусты, рапса (и других крестоцветных), лука, цветочных культур, ревеня, хвойных, яблони, груши, а также посадочного материала моркови, картофеля, лука, чеснока.

Действующее вещество – тирам 800 (г/кг).

Регламент применения. Расход рабочей жидкости при протравливании семян (за 2...5 дней до посева): пшеницы,

ржи и сорго - 10 л/т, с нормой расхода препарата – 1,5 ... 2 кг/т; кукурузы, конопли, гречихи – 10 л/т и 2 кг/т соответственно; подсолнечника, джута, кенафа и эспарцета – 5 ... 10 л/т и 2 ... 3 кг/т; клещевины и кориандра – 5 ... 10 л/т и 4 кг/т; арахиса – 5 ... 10 л/т и 6 кг/т; дыни и арбуза – 5 ... 10 л/т и 4...5 кг/т; зерновых культур, сои, люцерны, периллы – 5 ... 10 л/т и 3 ... 4 кг/т; многолетних злаков – 5 ... 7 л/т и 3 ... 4 кг/т; свёклы – 15 л/т и 4 ... 6 кг/т; льна-долгунца – 3 ... 5 л/т и 2 ... 3 кг/т; огурца – 10 л/т и 2 ... 3 кг/т; капусты, рапса и других крестоцветных культур – 10 л/т и 5 ... 6 кг/т; томата – 10 л/т и 8 кг/т; цветочных культур - 10 л/т и 2... 5 кг/т; лука – 10 л/т и 4 ... 5 кг; хвойных – 10 л/т и 6 кг/т; посадочного материала: маточных корнеплодов моркови (перед закладкой на хранении или перед высадкой в грунт) с нормой расхода препарата – 6 ... 8 кг/т, лука-севка (погружением перед посадкой в 2 ... 3%-ный рабочий раствор на 20 минут с последующим просушиванием) с нормой расхода препарата – 4...5 кг/т, чеснока (обработка погружением перед посадкой в 3%-ный раствор) с нормой расхода препарата – 5 ... 6 кг/т.

ТМТД, ВСК – фунгицидный препарат бактерицидного действия для протравливания семян пшеницы, кукурузы, подсолнечника, льна-долгунца, свеклы, ржи, сорго, гречихи, джута, кенафа, эспарцета, люцерны, зернобобовых культур, периллы, кормовых многолетних злаковых трав, цветочных культур, яблони, груши, хвойных культур, а также посадочного материала картофеля, моркови, лука и чеснока.

Действующее вещество – тирам (400 г/л).

Регламент применения. Протравливание семян ржи, пшеницы, сорго расход рабочей жидкости 10 л/т, расход препарата 3...4 л/т; кукурузы и гречихи расход – 8 ... 10 л/т и 4 ... 5 л/т соответственно; джута, кенафа и эспарцета 5 ... 10 л/т и 4 ... 6 л/т; клещевины – 5 ... 10 л/т и 8 л/т; арахиса – 5 ...

10 л/т и 10 л/т; дыни и арбуза – 5 ... 10 л/т и 8...10 л/т; зерновых культур – 5 ... 10 л/т и 6 ... 8 л/т; кормовых многолетних злаковых трав – 10 л/т и 6 ... 8 л/т; цветочных культур – 10 л/т и 4 ... 10 л/т; яблони и груши – 10 л/т и 4 л/т; хвойных культур – 10 л/т и 12; посадочного материала: картофеля (обработка семенных клубней перед посадкой) – расход рабочего раствора 65 ... 70 л/т и расход препарата 4 ... 5 л/т; моркови (обработка маточных корнеплодов перед закладкой на хранение или высадкой в грунт) - расход препарата 10 л/т; лука-севка (обработка путем погружения перед посадкой в 4 ... 6%-ном рабочем растворе на 20 минут с последующим просушиванием) - норма расхода препарата 8 ... 10 л/т; чеснока (обработка путем погружения перед посадкой в 6%-ном рабочем растворе) – норма расхода препарата 10 л/т.

Аналоги: **Актамыр**, ТПС. Действующее вещество – тирам (350 г/л). **Батыр**, КС. Действующее вещество - тирам (400 г/л).

Раксил-Т – фунгицидный препарат бактерицидного действия для протравливания семян пшеницы, ячменя, ржи, просо, овса, льна-долгунца.

Действующее вещество – тирам + тебуконазол (500+15 г/л).

Регламент применения: протравливание семян за 7–14 дней до посева с нормой расхода рабочей жидкости 10 л/т (на льне-долгунце – 3 ... 5 л/т). Расход препарата: семена пшеницы, ячменя и ржи – 1,5 ... 2 л/т; овса – 1,5 л/т, просо и льна-долгунца – 2 л/т.

Раксил + Т, СП – препарат для протравливания семян пшеницы и ячменя.

Действующее вещество – тирам + тебуконазол (500+15 г/кг).

Регламент применения: протравливание семян с нормой расхода рабочей жидкости 10 л/т и препарата – 2кг/т.

Аналоги: **Витал**, КС. Действующее вещество – тирам + тебуконазол (400+14 г/л); **старт**, КС. Действующее вещество – тирам + тебуконазол (386+14 г/л); **ТИР**, ТПС. Действующее вещество – тирам + тебуконазол (400+25 г/л).

Регламенты применения таких аналогов, как – *витал* и *старт* почти не отличаются от *раксила*, а у *ТИР* норма расхода препарата несколько ниже – 1 ... 1,2 л/т, кроме того, *витал* и *ТИР* разрешены для протравливания семян кукурузы, а *старт* – только пшеницы и ячменя.

Заслуживают внимания и сравнительно новые синтетические бактерициды, которые проявляют высокую антибактериальную активность против некоторых возбудителей болезней, отличаются низкой себестоимостью их производства и уже используются в ряде стран мира. Эти бактерициды относятся к низкомолекулярным веществам различной химической природы, содержащим азот (рис. 29).

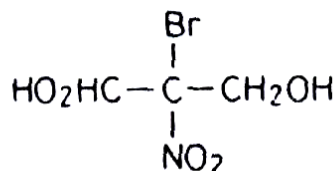


Рисунок 29а – Структурная формула *бронопола*

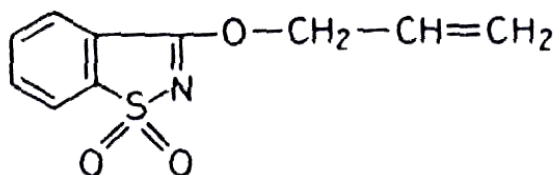


Рисунок 29б – Структурная формула *пробеназола*

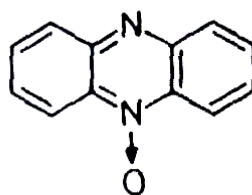


Рисунок 29в – Структурная формула *феназин-моно-оксида*

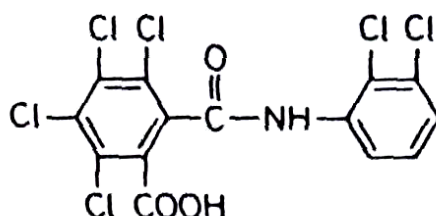


Рисунок 29г – Структурная формула *теклофтолама*

Рисунок 29 – Структурные формулы новых синтетических бактерицидов, применяемых за рубежом

Они достаточно стабильны поэтому их хранение и использование не вызывает больших проблем (табл. 5).

Таблица 5 – Новые органические бактерициды и их применение

Бактерицид	Объект использования	Порядок применения
<i>Бронопол</i>	Гоммоз хлопчатника, возбудитель <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>malvacearum</i>	Протравливание семян
<i>Феназин-моно-оксид</i>	Бактериальный ожог риса, возбудитель <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>oryzae</i>	Опрыскивание посевов
<i>Пробеназол</i>	Болезни растений, вызываемые <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>oryzae</i> , <i>Pseudomonas glumae</i> , <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>lachrymans</i> , <i>oryzae</i>	Гранулирование семян
<i>Тектофталам</i>	Бактериальный ожог риса, возбудитель <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>oryzae</i>	Опрыскивание посевов

Вместе с тем, эти препараты не зарегистрированы в России и сведений об их испытаниях в стране пока нет.

ФУНГИЦИДЫ

Фунгициды (от лат. *fungi* - грибы и *caedo* - убиваю), вещества, уничтожающие вредоносные грибы. Главная область применения фунгицидов - защита растений от болезней. Используют фунгициды в соответствующей форме путем опрыскивания или опыления растений, обработки почвы либо как протравители семян; применяют также в технике как антисептические средства для защиты неметаллических материалов от биоразрушения и в медицине как противогрибковые средства. Каждый фунгицид обладает определенным спектром действия против разных видов грибов (а иногда также бактерий) и не является универсальным. Фунгициды, используемые в растениеводстве, подразделяют на **защитные** (или контактные) и **системные**. Первые применяют в целях профилактики, они действуют лишь на поверхности растений или семян, убивая споры фитопатогенных грибов либо предотвращая их развитие. Системные фунгициды проникают внутрь растения, способны передвигаться по его сосудистой системе, что позволяет не только предотвращать болезни, но и искоренять инфекцию, глубоко проникающую в растительную ткань. Однако применение системных фунгицидов часто приводит к появлению резистентности (устойчивости), для преодоления которой чередуют препараты с различным механизмом действия либо используют смеси препаратов. Грибные болезни являются причиной значительных потерь урожая сельскохозяйственных культур (до 25–30%), а также снижения качества продукции. Опасность увеличения поражения растений болезнями увеличивается у многолетних культур, при возделыва-

вании сельскохозяйственных культур по интенсивной технологии и ведении монокультуры. В зависимости от химических свойств они бывают неорганическими (соединения серы – известково-серный отвар, молотая и коллоидная сера; меди – медный купорос, хлорокись меди; ртути – хлорная ртуть) и органическими.

Класс триазолы

Зенон аэро – системный двухкомпонентный фунгицид для защиты зерновых культур от листостеблевых инфекций (табл 6).

Таблица 6 – Спектр действия препарата Зенон аэро

Культура	Вредный объект
Пшеница яровая и озимая	Мучнистая роса, бурая ржавчина, стеблевая ржавчина, желтая ржавчина, септориоз листьев и колоса, пиренофороз, фузариоз колоса
Ячмень яровой и озимый	Карликовая ржавчина, мучнистая роса, сетчатая пятнистость, темно-бурая пятнистость, ринхоспориоз
Рожь озимая	Бурая ржавчина, мучнистая роса, септориоз, ринхоспориоз

Действующее вещество: тебуканазол + триадимефон.

Механизм действия: фунгицид, обладающий мезосистемным действием, которое выражается в закреплении фунгицида на поверхности листьев и плодов за счет связывания с восковым слоем, а также трансламинарной активности, что обеспечивает длительную, не зависящую от погодных условий защиту от заболеваний. Трифлостробин подавляет митохондриальное дыхание в грибах, что приводит к прекращению роста и гибели. Фунгицид обладает защитным и

лечебно-профилактическим действием. Он совместим с большинством используемых инсектицидов, фунгицидов, гербицидов, а также с минеральными удобрениями и стимуляторами роста, используемые в те же сроки на соответствующих культурах. Требуется особого внимания при смешивании с перетроидными инсектицидами.

Байлетон – системный фунгицид широкого спектра действия для защиты зерновых, кукурузы, овощных и других культур (табл. 7).

Действующее вещество: триадимефон.

Механизм действия: триадимефон ингибирует процесс диметилирования биосинтеза стеролов и нарушает избирательность проницаемости клеточных мембран патогена.

Байлетон совместим с большинством фунгицидов и инсектицидов.

Таблица 7 – Спектр действия препарата Байлетон

Культура	Вредный объект
Зерновые культуры (пшеница, ячмень, рожь, овёс)	Ржавчинные грибы (<i>Russinia</i> spp.), мучнистая роса (<i>Erysiphe graminis</i>), ринхоспориоз (<i>Rhynchosporium secalis</i>), септориоз (<i>Septoria</i> pp.), пиренофороз (<i>Pyrenophora</i> spp.), фузариозы (<i>Fusarium</i> spp.), сетчатая пятнистость (<i>Drechslera teres</i>), красно-бурая пятнистость (<i>Helminthosporium avenae</i>), церкоспореллэз (<i>Pseudocercospora herpotrichoides</i>) и другие заболевания

Скор – системный фунгицид для защиты плодовых культур от комплекса болезней; сахарной свеклы - от мучнистой росы и церкоспороза (табл. 8).

Действующее вещество: дифеноконазол.

Механизм действия: комбинированный фунгицид, воздействуя на патоген при разных уровнях, тормозит прорастание грибных спор и блокирует развитие мицелия.

Препарат не токсичен для птиц и пчел, но токсичен для рыб.

Таблица 8 – Спектр действия препарата Скор

Культура	Вредный объект
Груша	Парша, мучнистая роса
Персик, абрикос, слива, вишня, черешня	Кластероспориоз, курчавость листьев, парша, коккомикоз
Свёкла сахарная	Мучнистая роса, церкоспороз, альтернариоз
Яблоня	Парша, мучнистая роса

Альто супер – комбинированный фунгицид системного действия для защиты зерновых колосовых культур и сахарной свеклы (табл. 9).

Таблица 9 – Спектр действия препарата Альто супер

Культура	Вредный объект
Овёс	Корончатая ржавчина, красно-бурая пятнистость
Пшеница озимая и яровая	Мучнистая роса, ржавчина бурая, стеблевая, желтая, септориоз, пиренофороз, церкоспореллез, фузариоз (частичное действие)
Рожь озимая	Мучнистая роса, ржавчина бурая, стеблевая, септориоз, ринхоспориоз, фузариоз (частичное действие), кладоспориоз (частичное действие), альтернариоз (частичное действие)
Свёкла сахарная	Церкоспороз, мучнистая роса, фомоз, альтернариоз
Ячмень яровой и озимый	Гельминто-спориозные пятнистости, пиренофороз, мучнистая роса, ржавчина стеблевая и карликовая, ринхоспориоз, церкоспореллез, фузариоз (частичное действие)

Действующее вещество: пропиконазол + ципроконазол.

Механизм действия: Комбинированный фунгицид, воздействуя на патоген на разных уровнях, тормозит прораста-

ние грибных спор и блокирует развитие мицелия. Большая часть действующих веществ поглощается ассимилирующими частями растений в течение 1 часа и распространяется акропетально по ксилеме растения, с этого момента начинается воздействие препарата на возбудителя болезни. Такой механизм способствует равномерному распределению действующих веществ по растению и препятствует их смыванию.

Класс стробилуринов

Зато – фунгицид, относящийся к веществам с мезостемной активностью.

Действующее вещество: трифлуксистробин.

Механизм действия: Зато – фунгицид, обладающий мезостемным действием, которое выражается в закреплении фунгицида на поверхности листьев и плодов за счет связывания с восковым слоем, а также трансламинарной активности, что обеспечивает длительную, не зависящую от погодных условий защиту от заболеваний. Трифлуксистробин подавляет митохондриальное дыхание в грибах, что приводит к прекращению роста и гибели. Фунгицид обладает защитным и лечебно-профилактическим действием против ряда грибных болезней плодовых (табл. 10).

Таблица 10 – Спектр действия препарата Зато

Культура	Вредный объект
Груша	Парша, мучнистая роса
Яблоня, груша	Болезни при хранении (плесневидные грибы, латентная форма монилиоза и др.)

Он совместим с большинством фунгицидов и инсектицидов, за исключением сильнощелочных и высококислотных веществ. Перед применением рекомендуется проверить на совместимость.

Класс пиримидинамины

Ширлан – контактный фунгицид защитного действия (применяется преимущественно на картофеле).

Действующее вещество: флуазинам.

Механизм действия: подавляет прорастание зооспор на обработанной листовой поверхности, препятствуя формированию апрессориев, внедрению и росту гиф.

Класс опасности: 2

Эффективен против фитофтороза картофеля.

Класс бензимидазола

Фундазол – универсальный фунгицид защитного и искореняющего системного действия с широким спектром применения (табл. 11). Широко используется в агротехнологиях для защиты растений от грибных болезней. Особенно эффективен против корневых гнилей злаков (фузариозной, церкоспориозной, обыкновенной, офиоболёзной), мучнистой росы, пятнистостей листьев (грибного происхождения).

Действующее вещество: беномил.

Механизм действия в растении: поглощение беномила осуществляется листьями и корнями с преимущественным перемещением вверх. При этом большая часть препарата остается на поверхности растений в виде интактного беномила, а небольшая часть препарата проникает в растения и преобразуется в карбендазим, который также является высокоэффективным фунгицидным средством. Системное действие Фундазола позволяет защищать даже те участки больных растений, с которыми препарат не соприкасается.

Таблица 11 – Спектр действия фундазола

Культура	Вредный объект
Пшеница яровая и озимая	Снежная плесень, церкоспореллэз, офиоболэз, фузариозные корневые гнили, мучнистая роса
Рожь	Снежная плесень, церкоспореллэз, фузариозные корневые гнили, офиоболэз
Рис	Пирикуляриоз
Соя	Септориоз, бактериоз, оливковая пятнистость
Свёкла сахарная	Мучнистая роса, церкоспороз
Лён-долгунец	Пасмо, антракноз
Виноград	Серая гниль, оидиум
Яблоня, груша	Мучнистая роса, парша
Земляника	Мучнистая роса, серая гниль
Смородина чёрная	Американская мучнистая роса
Малина (питомники)	Пурпуровая пятнистость, серая гниль
Роза	Мучнистая роса
Сосна	Снежное и обыкновенное шюте
Капуста	Кила
Табак	Черная корневая гниль
Яблоня (сеянцы и саженцы)	Фузариозное, вертициллезное увядание
Протравливание семян:	
Пшеница яровая и озимая	Пыльная и твёрдая головня, церкоспореллэзная и фузариозная корневые гнили, снежная плесень
Ячмень яровой и озимый	Чёрная, пыльная и твёрдая (каменная) головня, фузариозные корневые гнили.
Овёс	Пыльная и покрытая головня, фузариозные корневые гнили

Рожь	Снежная плесень, стеблевая головня, фузариозные корневые гнили
Рис	Пирикуляриоз, фузариозная корневая гниль
Просо	Фузариозная корневая гниль, головня метелки
Зернобобовые (горох, соя, люпин)	Аскохитоз, фузариоз, антракноз, серая гниль, плесневение семян
Картофель	Ризоктониоз, фомоз, рак
Подсолнечник	Фомопсис (белая гниль).
Конопля	Белая и серая гнили, фузариозные корневые гнили, мучнистая роса, церкоспороз
Томаты	Фузариозное увядание
Яблоня	Фузариозная корневая гниль, плесневение семян
Кормовые многолетние злаковые травы	Плесневение семян, аскохитоз, гельминтоспориоз, фузариоз, спорынья.
Клевер	Фузариозная корневая гниль
Мак масличный	Фузариозная корневая гниль
Паслён дольчатый, ноготки лекарственные, женьшень, наперстянка шерстистая	Корневые гнили, мучнистая роса
Хвойные	Плесневение семян, инфекционное полегание сеянцев
Погружение в рабочий раствор:	
Капуста белокочанная (маточки)	Серая гниль, сосудистый бактериоз
Морковь (маточки)	Фомоз, белая и сухая гнили
Цикорий салатный (маточки)	Гнили при хранении.
Чеснок: яровой и озимый	Белая гниль донца, плесневение

Карбаматы

Инфинито – системный фунгицид для защиты картофеля от всех типов фитофтороза.

Действующее вещество: флуопиколид + пропамокарб гидрохлорида.

Механизм действия: Дезорганизация спектринообразных протеинов и нарушение проницаемости клеточной мембраны.

Инфинито относит классу опасности (умеренно опасное соединение).

Применять только профилактически.

Устойчивые сорта, например: Удача, Голубизна, Белоснежка, Брянская новинка, Никулинский.

Чувствительные сорта, например: Ильинский, Сантэ, Романо, Невский, Гатчинский.

Превикур – системный фунгицид защитного и ростстимулирующего действия. Применяется на огурце против корневой гнили и переноспороза.

Действующее вещество: пропамокарб гидрохлорида.

Механизм действия: препарат нарушает биосинтез мембранных структур и ингибирует прорастание спор и развитие мицелия.

Фунгициды неорганической природы

Коллоидная сера (порошок) – малотоксичное лечебное фунгицидное средство. Используется при появлении признаков мучнистой росы, парши. Последнюю обработку препаратом можно проводить за 3 дня до сбора урожая. Класс опасности – 4.

Медный купорос (сульфат меди, 980 г/кг) – фунгицид, предназначенный для опрыскивания плодово-ягодных, декоративных деревьев и кустарников от парши, монилиоза,

антракноза и других болезней, а также для дезинфекции ран. Класс опасности – 3.

Бордосская смесь – традиционно используемое, относительно малоэффективное фунгицидное средство. Представляет собой водный раствор медного купороса и извести. Используется для профилактики и лечения фитофтороза. Оставляет устойчивые белые пятна.

ДЕСИКАНТЫ

Десиканты (от лат. desiccans, род. падеж desiccantis – высушивающий), пестициды, применяемые в предуборочный период для высушивания надземных частей растений с целью ускорения созревания и облегчения уборки с.-х. культур (подсолнечника, картофеля, клещевины, хлопчатника, семенников свёклы, клевера, капусты, льна и др.). В качестве десикантов используют обычно быстродействующие гербициды контактного действия, такие как реглон (дикват-дибромид) и $Mg(ClO_3)_2 \cdot 6H_2O$. В советский период (1986-1990) разрешены также NaCNS (дебос), $Ca(ClO_3)_2$ в смеси с $CaCl_2$, метоксурон (пуривел) и буминафос. Кроме того, мировой ассортимент входят: паракват-дихлорид, ДНОК, диносеб, пентахлорфенол натрия, пентахлорфенолят натрия, $H_3AsO_4 \cdot 5H_2O$, аметрин, эндотал, глифосаты.

Наиболее распространённый способ применения – авиаопрыскивание водными растворами или дисперсиями десикантов. В настоящий период широко применяются следующие препараты.

Баста, ВР (150 г/л) – десикант, применяемый на подсолнечнике, клещевине, рапсе, льне-долгунце, клевере (семенные посевы).

Способствует равномерному созреванию и улучшению качества семян, предотвращает осыпание семян; позволяет проводить прямое комбайнирование; сохраняет прочность стебля, что не вызывает проблемы полегания. Препаратив-

ная форма: водный раствор, содержащий 150 г/л глю-
фосината аммония.

Механизм действия: действующее вещество препарата — глюфосинат аммония – модификация существующего в природе продукта метаболизма почвенного гриба *Streptomyces* spp. По химической структуре он близок к аминокислоте глутамин. Этот препарат блокирует фермент глутаминсинтетазу вследствие чего в растительных клетках повышается содержание аммиака, что приводит к гибели клеток и остановке фотосинтеза. Скорость воздействия: симптомы действия видимы через 4-7 дней.

Реглон Супер, ВР – контактный десикант, предназначен для предуборочной десикации подсолнечника и гороха, а также семенников овощных, кормовых и технических культур. Действующее вещество – дикват-дибромид. Ускоряет процесс высушивания, особенно при неравномерном созревании растений, облегчает уборку. Препарат совместим в баковых смесях с мочевиной и/или аммиачной селитрой.

В зависимости от физиологического состояния растений в момент обработки, а также погодных условий в период обработки и вскоре после нее, этот препарат высушивает растения в течение 5-10 дней после проведения обработки.

Применяется при наступлении физиологической спелости семян при влажности 30-50% в зависимости от культуры. Обработка в более ранние сроки может привести к снижению урожайности. Интенсивность десикации зависит от нормы расхода препарата, обрабатываемой культуры, густоты стояния растений, засоренности посевов, погодных условий в момент обработки и после нее. с увеличением облиственности культуры, высокой засоренности посевов и посадок, при высокой влажности, а также при необходимости проведения уборки в сжатые сроки норму расхода препарата необходимо увеличить. Эффективность препарата не зависит от температурных условий. В солнечную, сухую по-

году скорость десикации увеличивается. Норма расхода рабочего раствора должна быть достаточной для полного смачивания всей листовой поверхности. Осадки, выпавшие через 10 минут после проведения обработки, не снижают эффективности препарата.

Не фитотоксичен при использовании препарата в строгом соответствии с разработанными фирмой рекомендациями не создается риска возникновения.

Механизм действия: действующее вещество препарата (дикват) адсорбируется живыми клетками растения, включается в процессы метаболизма растения и образует соединения, которые разрушают мембраны клеток растения. В результате этого клетки погибают, что приводит к подсушиванию растения (рис. 30).



Рисунок 30 – Схема механизма действия препарата дикват на клетку

Признаки гербицидного действия – первые визуальные симптомы действия препарата на растения появляются на следующий день в виде хлороза листьев; бурых пятен и некрозов на 2-3 день. Через 7-12 дней после обработки культура готова к уборке (рис. 31).

Аналоги препарата – Дикват; ДикваТерр, ВР (150 г/ л); Голден Ринг; Диктатор; Регулят Супер, ВР (150 г/л) .



Рисунок 31 – Результат десикации сои регилоном
(вверху слева 1-й день, справа 3-й день, внизу 7-й день)

Ураган Форте 500 SL, в. г. к. действующее вещество – глифосат в форме кислоты 500 г/л (производные глицина). Формуляция: водорастворимый концентрат. Эффективный неселективный системный гербицид широкого спектра действия, уничтожает самые злостные сорняки (осот, пырей, свинорой, вьюнок и др.) и древесно-кустарниковую растительность; обработанные этим гербицидом сорняки не отрастают вновь, высокоэффективен для предуборочной десикации зерновых культур. Механизм действия препарата: блокирует синтез ароматических аминокислот и влияет на проницаемость клеточных мембран, что ведет к изменению осмотического давления и, в конечном итоге, к разрушению клеточных структур. Он проникает в растение через листья и стебли (через 2-3 часа), переходит в корневую систему и уничтожает растение целиком.

Рекомендован для борьбы с такими сорняками, как пырей ползучий, свинорой, рогоз, вьюнок, тростник, бодяк. Видимые признаки поражения проявляются уже через 7-10 дней (происходит пожелтение, увядание), а через 2-3 недели (в зависимости от погодных условий) наблюдается полная гибель сорняков. В почве этот препарат полностью разлагается в течение месяца и не представляет никакой угрозы для растений, поэтому культурные растения можно высаживать на обработанные участки уже через 2-4 дня. Можно использовать весной и осенью. Не смывается осадками через 2-3 часа после опрыскивания. В почве быстро разлагается и не накапливается. Десикант совместим с большей частью применяемых пестицидов.

Аналоги препарата – Торнадо, Раундап, Глифор.

ДЕФОЛИАНТЫ

Дефолиант (от лат. *de-* – от, возврат и *folium* – лист) это вещество, вызывающее опадение листьев растений.

В качестве дефолиантов применяют цианамид кальция, хлорат магния и так далее. Дефолианты отличаются от гербицидов тем, вызывают лишь опадение листьев, а не уничтожают растения и не останавливают их рост.

Широко использовались американскими военными во время войны во Вьетнаме для облегчения поиска партизан в джунглях (рис. 32). Было распылено около 22 млн. литров дефолианта Оранжевой смеси (основной компонент которого - гербицид 2,4,5-Т содержал примесь диоксина), что привело к полному уничтожению лесов и посевов сельскохозяйственных культур на обширных площадях и поражению населения, а также американских военнослужащих.

Известны и другие случаи отравления дефолиантами людей. Например, утверждалось, что в ходе предвыборной компании на Украине (2004) кандидат на пост президента Виктор Ющенко был, возможно, отравлен дефолиантами.



Рисунок 32 – Вертолёт, распыляющий дефолиант над джунглями Вьетнама (фото 26.07.1969)

Действие дефолиантов связано с интенсивным образованием в растении этилена – природного регулятора роста, способствующего формированию у листьев отдельного слоя. Число дефолиантов, используемых на практике, невелико. В советский период (1986-1990) были разрешены $Mg(ClO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $Ca(ClO_3)_2$ в смеси с $CaCl_2$, гидрел (рис. 33/Г). В мировой ассортимент входят также фолекс $(C_4H_9S)_3P$, бутифос $(C_4H_9S)_3PO$, 2-хлорэтилфосфоновая к-та (этефон) $ClCH_2CH_2P(O)(OH)_2$, хлорат и бораты Na, какоди-

ловая к-та $(\text{CH}_3)_2\text{As}(\text{O})\text{OH}$, CaCN_2 , диметипин или харвейд (рис. 33/II), паракват-дихлорид и эндотал.

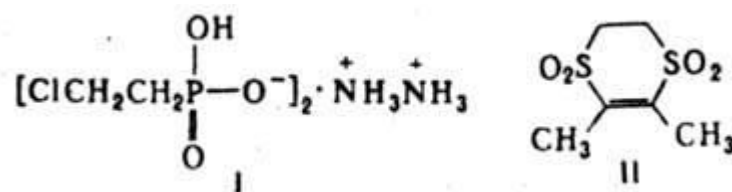


Рисунок 33 – Структура молекул дефолиантов гидрела (I) и диметипина (II)

Дефолианты имеют большое значение для обеспечения опадения листьев хлопчатника. Их используют для предуборочной обработки растений (как правило, на стадии раскрытия 1-4 коробочек) с целью ускорения раскрытия коробочек и облегчения машинной уборки. В основном путём авиаопрыскивания водными растворами или дисперсиями дефолиантов (нормы расхода дефолиантов 0,5-12 кг/га).

В небольших масштабах дефолианты используют для обработки виноградной лозы, сои, томатов, а также для подготовки саженцев плодовых деревьев к перезимовке. При более высоких дозах или позднем применении на некоторых культурах дефолианты могут действовать также как десиканты, а при раннем применении – как гербициды (этефон и гидрел). Порядок применения дефолиантов строго регламентирован во избежание опасного загрязнения окружающей среды.

Бутифос, действующее вещество – S,S,S-трибутилтрифосфат $(\text{C}_4\text{H}_9\text{S})_3\text{P}=\text{O}$. Является дефолиантом, применяемым для предуборочного удаления листьев у хлопчатника. Это светло-желтая жидкость с неприятным характерным запахом, нерастворимая в воде. Меры предосторожности при использовании бутифоса – как со среднетоксичными пестицидами (ПДК_в - 0,0003 мг/дм³). Разложение препарата в почве с деструкцией молекулы протекает достаточно

быстро и заканчивается практически через две недели. В России применение бутифоса прекращено.

АДЬЮВАНТЫ

Адьюванты (от лат. *adjuvans* – помогающий) - это вещества усиливающие выработку антител вследствие введения вакцины, они применяются в защите растений для стимулирования работы иммунной системы у растений, усилению проникновения в листья химических веществ, способствуют увеличению сопротивляемости химических препаратов к смыванию и увеличению площади охвата листа этими веществами.

Адьюванты добавляют в удобрения для повышения эффекта от листовой подкормки. Видов адьювантов существует достаточно много, для каждого из них характерны свои химические свойства, которые помогают проникновению полезных веществ из удобрений в растение разными механизмами.

Различают следующие группы адьювантов:

1. **Масла** – в этой группе в качестве адьювантов применяются минеральные масла, растительные масла, а также этерифицированные масла. Каждое из них способствует увеличению количества проникающих в листья химических веществ.

2. **Поверхностно-активные ионные и неионные вещества** – в этой группе адьюванты представлены этоксилированным спиртом, полиоксиакрилен-этоксилированными аминами и алкилполигликосидами. Эти вещества не только увеличивают проникновение в ткани растения химических удобрений, но и способствуют их удержанию в листе.

3. **Органосиликоны** – в эту группу входят два препарата - Sylgard 309 и Silwet L-77, которые способствуют увеличению площади охвата листа полезными веществами, наполняют поры растения, усиливают его дождестойкость.

4. **Полимерные вещества и синтетические латексы** – включают поливиниловый спирт и полиакриламиды, снижающие смещаемость капель и усиливающие удержание на поверхности листа химических элементов.

5. **Производные от терпенов** – в эту группу входят Nufilm and Heliosol, которые способствуют увеличению сопротивляемости химических препаратов к смыванию.

6. **Неорганические соли** – вещества, увеличивающие проникновение химических веществ.

Основное свойство большинства адъювантов – способность их депонировать антиген, то есть адсорбировать его на своей поверхности и длительное время сохранять в организме, что увеличивает продолжительность его влияния на иммунитет.

Наиболее сильные адъюванты содержат в своем составе микроорганизмы ослабленных штаммов или какие-либо субстанции, извлеченные из них. Эти компоненты являются *стимуляторами клеток врождённого иммунитета*, таких как макрофаги и другие антигенпрезентирующие клетки.

Для направленной доставки антигена в лимфоидные органы используют липидные пузырьки – липосомы. Это позволяет точно дозировать антиген и избежать его влияния на структуры, не вовлечённые в формирование иммунного ответа.

Наиболее широко применяемые адъюванты

Адъювантами могут быть неорганические (фосфаты алюминия и кальция, хлористый кальций и др.) и органические (агар, глицерол, протамины и другие) вещества. В настоящее время наиболее широко применяются следующие адъюванты

Адью – яркий представитель адьювантов, действующее вещество – этоксилат изодецилового спирта, это неионогенное поверхностно-активное вещество, (900г/л), является усилителем активности гербицидов. Добавление адьюванта Адью в рабочий раствор гербицидов позволяет достигать более высокой эффективности в борьбе с сорняками, особенно при неблагоприятных условиях, и снижать норму расхода препарата. Норма расхода Адью – 0,2 л/га при расходе рабочего раствора гербицида 200 л/га.

Неполный адьювант Фрейнда – представляет собой водно-жировую эмульсию, содержащую вазелиновое масло, ланолин и эмульгатор. Депонирует антиген и усиливает его захват фагоцитами.

Полный адьювант Фрейнда – включает в себя, кроме вышеперечисленных компонентов, БЦЖ или мурамилдипептид. Это позволяет ему дополнительно активировать макрофаги и костимулировать Т-клетки.

Алюминиевые квасцы – гидроксид алюминия, $Al(OH)_3$, который благодаря высокой способности к сорбции выполняет функцию антигенного депо а также неспецифически усиливает фагоцитоз.

***Bordetella pertussis* с квасцами** – изготовлен из ослабленного штамма *B. pertussis*, сорбированного на $Al(OH)_3$. Действие гидроксида алюминия дополняется активацией макрофагов и костимуляцией Т-клеток.

Иммуностимуляторный комплекс (ISCOM) – представляет собой липидные мицеллы, окружающие белковые (чаще всего вирусные) частицы. Частицы антигена доставляются непосредственно в цитозоль Т-клеток, чем достигается индукция Т-киллеров.

Адьюванты нового поколения – в отличие от квасцов, которые издавна используют для повышения эффективности вакцинирования, адьювант Фрейнда не может применяться с аналогичной целью из-за многочисленных побоч-

ных эффектов. Это побудило к поискам безвредных адъювантов. Среди них высокой эффективностью отличаются некоторые полиэлектролиты, такие как, полиоксидоний.

Применение адъювантов

в медицине – при изготовлении вакцин;

в лабораторной практике – для усиления выработки антител при иммунизации животных, в процессе получения гибридов;

в агротехнологиях – для усиления действия (а также снижения доз внесения) пестицидов и других физиологически активных веществ, биопрепаратов.

Таким образом, широкое применение пестицидов сыграло большую роль в увеличении продуктивности агробиоценозов. Вместе с тем, резко ухудшилась экологическая ситуация, что привело к таким негативным последствиям как возникновение резистентности вредных организмов, изменение их видового состава, снижению микробиологической активности почв и, как следствие, сокращению плодородия почвы (в том числе содержания гумуса), увеличению частоты онкологических и наследственных заболеваний населения, уменьшению видового разнообразия на Земле. В этой связи, наиболее предпочтительны технологии с использованием биозащиты (в том числе путём применения микробиологических средств, физиологически активных веществ и, в первую очередь, клеточных метаболитов). особое место в этой системе защиты принадлежит феромонам.

Контрольные вопросы к теме: «ПЕСТИЦИДЫ»

1. Применяемые в агротехнологиях пестициды.
2. Гербициды, применяемые в агротехнологиях.
3. Гербициды сплошного действия.
4. Дефолианты.
5. Десиканты.
6. Адъюванты.
7. Бактерициды, применяемые в агротехнологиях.
8. Антибиотики и особенности их применения.
9. Антибиотики, применяемые в агротехнологиях.
10. Фунгициды с бактерицидным эффектом.
11. Бактерициды неорганической природы.
12. Фунгициды в агротехнологиях и их разнообразие.
13. Фунгициды органической природы, применяемые в агротехнологиях и их классификация.
14. Фундазол, механизм действия и спектр его применения.
15. Фунгициды неорганической природы, применяемые в агротехнологиях.

7. ФЕРОМОНЫ

Феромоны (от греч. φέρω – нести и ορμόνη – побуждать, вызывать) это собирательное название веществ – продуктов внешней секреции, выделяемых некоторыми видами животных и обеспечивающих химическую коммуникацию между особями одного вида.

Феромоны синтезируются и растениями. Феромоны – биологические маркеры собственного вида, летучие хемосигналы, управляющие нейроэндокринными поведенческими реакциями, процессами развития, а также многими процессами, связанными с социальным поведением и размножением.

Феромоны модифицируют поведение, физиологическое и эмоциональное состояние или метаболизм других особей того же вида. Как правило, феромоны продуцируются специализированными железами.

На современном рынке парфюмерной продукции присутствуют товары, которые позиционируются как «содержащие феромоны». Производители такой продукции утверждают, что её использование усиливает привлекательность у противоположного пола «на подсознательном уровне».

Впервые феромоны были обнаружены немецкими исследователями под руководством Адольфа Бутенандта (1962). Они выделили из желез самок шелкопряда вещество, привлекавшее самцов того же биологического вида. Полученное вещество было названо бомбикол – (от латинского названия шелкопряда, *Bombyx mori*). Ими была проделана огромная работа, в результате которой из нескольких десятков тысяч самок *Bombyx mori* было выделено всего 4 мг бомбикола. Это вещество имеет довольно простую структуру, вследствие чего его полный химический синтез был осуществлен за несколько недель (рис. 34).

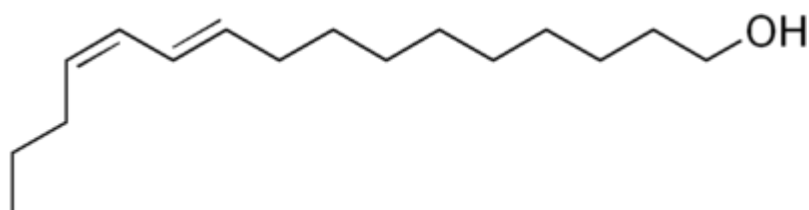


Рисунок 34 – Структура молекулы бомбикола (феромона шелкопряда *Bombyx mori*)

В 60-х годах XX века выделение и изучение феромонов было сопряжено с определенными трудностями. Это было связано в первую очередь с отсутствием в арсенале исследователей надежных и экономичных методов выделения и анализа сверхмалых количеств веществ. Однако, после широкого внедрения в практику хроматографических методов исследования процесс выделения феромонов значительно упростился.

В настоящее время количество изученных феромонов достигает нескольких тысяч.

Классификация феромонов

По своему воздействию феромоны делятся на два основных типа: *релизеры* и *праймеры*.

Релизеры – тип феромонов, побуждающих особь к каким-либо немедленным действиям и используются для привлечения брачных партнёров, сигналов об опасности и побуждения других немедленных действий.

Праймеры используются для формирования некоторого определённого поведения и влияния на развитие особей: например, специальный феромон, выделяемый пчелой-маткой. Это вещество подавляет половое развитие других пчёл-самок, обеспечивая превращение их в рабочих пчёл.

Различают следующие типы феромонов:

- 1) эпагоны – половые аттрактанты;

- 2) одмихнионы – метки пути, указывающие дорогу к дому или к найденной добыче, метки на границах индивидуальной территории;
- 3) торибоны – феромоны страха и тревоги;
- 4) гонофионы – феромоны, индуцирующие смену пола;
- 5) гамофионы – феромоны полового созревания;
- 6) этофионы – феромоны поведения;
- 7) лихневмоны – феромоны маскирующие животное под другой вид.

Феромоны насекомых

Феромоны используются насекомыми для подачи самых разных сигналов. Упомянутый выше бомбикол использовался самками шелкопряда для поиска полового партнёра, однако на этом влияние феромонов на регулирование жизни насекомых не ограничивается.

Например, муравьи используют феромоны для обозначения пройденного пути. По специальным меткам, оставляемым по дороге, муравей может найти дорогу обратно в муравейник. Также, метки, делаемые при помощи феромонов показывают муравьям путь к найденной добыче. Отдельные запахи используются муравьями для подачи сигнала об опасности, что провоцирует у особей либо бегство, либо агрессивность.

Применение феромонов

Феромоны нашли своё использование в сельском хозяйстве. В сочетании с ловушками разных типов, феромоны, приманивающие насекомых, позволяют уничтожать значительные количества вредителей. Кроме того, распыление феромонов над сельскохозяйственными угодьями позволяет обмануть самцов вредителей и таким образом снизить по-

пуляцию вредных насекомых – ввиду того, что самцы, привлечённые более сильным синтетическим запахом, не смогут найти самку для спаривания. Многие феромоны насекомых учёные научились синтезировать искусственно.

Будучи сравнительно молодой областью знаний, феромоны насекомых за несколько десятилетий получили стремительное развитие. Возникли новые направления фундаментальных исследований на стыке химии и энтомологии. Со времени определения химической структуры феромона у первого вида – тутового шелкопряда (1962) к настоящему времени установлена структура феромонов нескольких тысяч насекомых.

Процесс идентификации повлёк за собой разработку ювелирных методов выделения феромонов из желез бабочек; развитие хромато-масс-спектрометрии, как метода, позволяющего определять структуру компонентов феромонов, имея в руках вещество из одной самки или из «облачка» над живой активной самкой. Изучаются ферментные системы, ответственные за биосинтез и метоболизм феромонов, в последнее время большое внимание уделяется изучению взаимоотношений насекомого и растения-хозяина. Развита методика синтеза феромонов насекомых, позволяющие получать изомерно- и энантимерно-чистые вещества, разработаны технологии крупномасштабного синтеза феромонов, обеспечившие переход к их практическому использованию.

Полезные свойства феромонов позволили им стать важной частью в системе интегрированной защиты растений. Интегрированная защита растений предусматривает точные сведения о популяции насекомых. Эти сведения могут быть получены наблюдением за насекомыми с помощью ловушек с феромонами. Интегрированная защита растений предполагает использовать избирательные средства воздействия на популяции. Феромонные препараты, как нельзя лучше, позволяют управлять насекомыми, не затрагивая другие орга-

низмы в биоценозе. Феромоны малотоксичны, к тому же применяются в малых дозах и отравление ими невозможно. Феромоны являются летучими веществами и к тому же, достаточно лабильными, они разрушаются под действием солнечного света, влаги и температуры. Поэтому, и не накапливаются на обработанной территории.

Все эти качества сразу открыли большие перспективы использования феромонов в защите растений и привлекли внимание многих химиков и энтомологов к решению практических задач.

Наиболее глубоко изучены феромоны и их применены в защите растений экономически значимых видов, таких как яблонная плодовая жорка (*Cydia pomonella*), восточная плодовая жорка (*C. molesta*), сливовая плодовая жорка (*C. funebrana*), хлопковая совка (*Heliothis armigera*), хлопковая моль (*Pectinofhora gossypiella*), другие совки, лесные вредители: короед типограф (*Ips typographus*), шелкопряд-непарный, сосновый, шелкопряд монашенка и другие.

Получили развитие три основных направления применения феромонов в защите растений: отлов самцов в ловушки с целью мониторинга, массовый отлов самцов с целью снижения численности популяции и дезориентация самцов с целью прерывания половой коммуникации насекомых.

Мониторинг. Феромонные ловушки отлавливают целевой вид, даже если популяция имеет очень низкую численность. Поэтому они используются для раннего предупреждения появления вредителя. Мониторинг особенно важен, если численность вредителя быстро нарастает от года к году, или, если ожидается миграция. С помощью ловушек могут быть установлены новые участки расселения насекомых на ранней стадии, предсказана динамика развития популяции, определено распределение насекомых по заражённому участку. Мониторинг используют для прогноза сроков появления и численности насекомых, определяют оптималь-

ные периоды применения средств защиты растений, выпуска энтомофагов.

При повреждениях культур несколькими видами насекомых феромонный мониторинг позволяет установить экономически наиболее опасный вид и определить стратегию защиты.

Мониторинг позволяет изучать ранее неизвестные стороны биологии насекомых, выявлять новые виды. Однако, качественный мониторинг, по которому можно было бы учесть все факторы воздействия на популяцию, ещё не разработан для многих видов. По числу отловленных насекомых часто не удается предсказать количество отложенных самками яиц, гусениц и экономический ущерб. Следует учитывать влияние природных факторов на развитие популяции. Так, неблагоприятные погодные условия могут снизить количество яиц и гусениц, и при высоком отлове самцов повреждение растений может быть небольшим. В некоторых случаях к феромону или к отловленным самцам привлекаются энтомофаги. Их деятельность может снизить повреждение растений. И, наоборот, феромон может привлекать самцов из соседних участков и, таким образом, давать ошибочную информацию о численности популяции. Тем не менее, применение синтетических половых феромонов для мониторинга нашло широкое распространение в развитых странах Европы, в США, в Японии в защите садов, виноградников и хлопчатника. Это позволило перейти от сплошных обработок к очаговым и сократить расходы на защиту в два-три раза. В нашей стране феромонные ловушки находят повсеместное применение при выявлении карантинных объектов. Специалисты по защите растений, садоводческие хозяйства, питомники используют феромонный мониторинг для определения сезонной динамики лета бабочек, для прогнозирования поврежденности плодов гусеницами, для определения сроков наиболее эффективного ис-

пользования инсектицидов. Год от года увеличивающиеся заявки на феромонные ловушки для яблонной плодожорки и других листоверток, поступающие их производителям, говорят о распространении феромонного мониторинга в Нечернозёмной зоне РФ, в Поволжье, в Татарстане, в восточных областях РФ. Благодаря работам Великолукской сельскохозяйственной академии мониторинг яблонной плодожорки и комплекса листоверток находит распространение на Северо-западе нашей страны. В Ставропольском крае ведётся слежение за развитием, распространением, динамикой численности непарного шелкопряда, шелкопряда монашенки, зелёной дубовой листовертки. В Краснодарском крае научные исследования по феромонам щелкунов, их синтез и внедрение на посевах полевых и овощных культур проводит школа известного в этой области учёного Яцынина Вениамина Григорьевича.

К сожалению, по экономическим причинам в последние годы прервалась связь между химиками, которые продолжают исследования и выпуск феромонов во ВНИИХСЗР, в ЗАО «Щёлково Агрохим», во ВНИИБЗР (г. Краснодар), энтомологами и специалистами, которые практически применяют феромоны. Ушли в небытие комплексные программы, которые координировали научные разработки. Всё это резко сократило объём исследований по феромонам и все, а применяемые сегодня технологии, основаны на старых разработках, выполненных в 70-90 годы XX века.

Массовый отлов. Массовый отлов самцов может сдерживать увеличение роста популяции, когда начальная численность низкая и когда удастся отловить большую часть популяции. Идеальными видами для массового отлова являются насекомые, которые не впадают в диапаузу, поэтому уязвимы в регионах с холодной зимой, и первое поколение их малочисленно.

Известно большое число примеров успешного применения массового отлова. Так, многолетние исследования ВНИТИКиЗР феромонных составов для восточной плодовой жорки показали 88-90% эффективность массового отлова этого вида на фоне низкой численности перезимовавшего поколения в изолированных персиковых садах при размещении 50 ловушек на гектар. Положительный результат получен в садах Северо-западного региона России в снижении численности яблонной плодовой жорки, которая развивается в этом регионе в двух поколениях. Здесь за 7 лет отлова самцов с размещением 20-30 ловушек на гектар численность бабочек снижена с 12-30 экз. на ловушку в неделю до 1+0,1 экз., а поврежденность яблок составила 0,2-0,5%. На ограниченных участках, например в теплицах в Краснодарском и Ставропольском крае, элиминация жуков-щелкунов позволила уменьшить численность до экономически безопасного уровня, а поврежденность томатов и огурцов снижена с 9-32% до 0,03-0,5%.

Однако, нередко с одним и тем же видом получают разные результаты не только в разных местах, но и на одних и тех же участках в разные годы. Метод массового отлова имеет ряд ограничений и трудностей при применении. Результат может быть сведён к нулю оплодотворенными самками, мигрирующими с необработанных участков, расположенных поблизости. Это часто наблюдается, если для защиты выбран участок небольшой площади. Массовый отлов на больших площадях, например на хлопковых полях, требует много времени и сил при наблюдении за ловушками. Он использовался в Египте, где применялся дешёвый труд, в том числе и детский, при отлове хлопковой совки (*Spodoptera littoralis*). Не разработаны критерии достоверной оценки результатов метода. Часто используемые данные по снижению общего числа отловленных бабочек от года к году не могут рассматриваться как результат действия одних

только феромонных ловушек. Природные факторы, неблагоприятные погодные условия, деятельность энтомофагов также могут влиять на снижение численности популяции.

Таким образом, для достижения успеха в массовом отлове необходимы изолированные участки, низкая плотность популяции целевого вида, окружение соседними культурами, которые не повреждаются этим видом.

Перспективным представляется метод отлова самцов в ловушки на феромон, совмещённый с инсектицидом. Побывав в ловушке в контакте с инсектицидом, самцы улетают и погибают вне ловушки. Таким образом, не требуется трудоемкая очистка или замена вкладышей. В широких полевых опытах в Узбекистане на посевах хлопчатника при отлове хлопковой совки (*Heliothis armigera*) в такие ловушки достигнута 100% гибель бабочек и общая эффективность метода составила 87-92%. Для этого применяется препарат, выпускаемый фирмой «Novartis Crop Protection», который содержит 0,16% феромона яблонной плодовой жорки и 6% перметрина или циперметрина. Этот состав в виде раствора или вязкой пасты наносится каплями на растение. Каждая капля содержит 0,09 мг феромона и 3,42 мг инсектицида, на гектар расходуется 1200-2000 капель, за сезон проводят 2-3 обработки, привлечение самцов продолжается 4-5 недель, гибель самцов 100%.

Опыты совместного использования феромонов и хемостероидов или регуляторов роста и развития насекомых хотя и были успешными в ряде стран, в том числе и в нашей стране, однако практического использования не получили.

Дезориентация. Сегодня пока не ясен механизм дезориентации самцов. Ещё не установлено, является ли дезориентация результатом адаптации рецепторов в условиях высокой концентрации феромона или привлечением к искусственному сильному источнику феромона по ложному следу. Тем не менее, известно, что для достижения эффекта дез-

ориентации необходимо создать высокий уровень концентрации феромона на участке в течение всего периода лёта насекомых. Поддержание постоянной концентрации в течение длительного периода обеспечивается диспенсером. Для этой цели используются полые волокна, которые представляют собой капилляры с одним запаянным концом. Феромон внутри удерживается капиллярными силами и медленно испаряется через открытый конец. Равномерность испарения обеспечивается площадью внутреннего отверстия капилляра. Применяются также трёхслойные пластинки, в которых феромоном импрегнирован внутренний слой, находящийся между непроницаемыми пластинками. Выделение феромона происходит с поверхности торцов среднего слоя.

Для производства и применения удобны микрокапсулы. Процесс микрокапсулирования давно отработан в других отраслях техники, например в производстве фармацевтических препаратов. Изменением размера микрокапсул и толщины стенок можно изменять эмиссию феромонов в значительных пределах.

Все эти диспенсеры для достижения эффекта дезориентации требуют большой дозы действующего вещества, часто 100 г и больше. Учитывая, что компоненты феромона – дорогостоящие вещества, метод дезориентации не выдерживает экономических требований. При использовании этих типов диспенсеров большая часть феромона выделяется бесполезно в воздух в часы, когда активность насекомых отсутствует. Потери феромона происходит как за счёт активной эмиссии в тёплое время дня, так и за счёт разложения под действием температуры, солнечного света, влаги. Для стабилизации в феромонные составы вводят антиоксиданты, УФ-экранирующие компоненты. Для удешевления препаратов делаются попытки применить для дезориентации феромоны, содержащие примеси. Например, японская фир-

ма Shin-Etsu Chem. Corp. в опытном объёме производит модифицированные феромонные препараты. В препарате для дезориентации совки (*Spodoptera exigua*) присутствие в ацетате спиртового компонента в небольших количествах повышает эффект. Примеси спирта в промышленной технологии феромонов-ацетатов спиртов присутствуют всегда. Тщательная очистка от них трудоёмка, сопряжена с потерями феромона и сильно удорожает продукт. В некоторых случаях не требуется освобождаться от геометрических и позиционных изомеров, которые присутствуют как балласт и не снижают эффективности препарата для дезориентации. Но некоторые виды насекомых, напротив, очень остро реагируют на присутствие примесей в феромоне. И это открывает возможности использовать такие примеси для создания препаратов, ингибирующих восприятие феромона. Часто эти соединения более просты по структуре и, следовательно, более дешёвы.

Привлекательность метода дезориентации заставляет разрабатывать принципиально новые средства и устройства, пролонгирующие эмиссию феромона. Например, успешной оказалась попытка использовать спрей, обеспечивающий скорость эмиссии феромона в 20 раз большую, чем традиционные диспенсеры. Распространение феромона достигается передвигающимся устройством, снабженным таймером, что позволяет использовать феромон только в часы активности насекомых и только в тех участках, где обнаружено скопление насекомых. Для обработки 1 гектара используется 4-5 таких приспособлений. Например, подобными препаратами в Италии (2000-2002) проводилась борьба с яблонной, восточной плодовой и другими листовёртками, расход феромона 160-220г за сезон, результаты дезориентации – на уровне стандартных технологий защиты инсектицидами.

Интересен способ, названный «auto-confusion». Он заключается в том, что самец привлекается к составу, содержащему феромон и электростатический порошок, который имеет свойство налипать на кутикулу и другие части тела насекомых. После контакта с этим составом самец улетает и несёт на себе феромон. Феромон на теле самца вызывает адаптацию его рецепторов и нарушение всей сенсорной системы, и самец не находит самку. Обработанные самцы представляют собой мобильные феромонные диспенсеры и создают «фальшивый феромонный след». Нормальные самцы пытаются контактировать с обработанными как с самкой, и берут на себя часть феромонного состава, распространяя, таким образом, феромон. Этот состав опробован в Англии, Канаде, Испании с положительными результатами снижения численности яблонной плодовой жорки, рисового долгоносика (*Chilo suppressalis*).

Метод дезориентации внедрён в программах защиты садов и виноградников от яблонной и восточной плодовой жорки, виноградной листовёртки, защиты хлопчатника от хлопковой моли (*Pectinofora gossypiella*) в США, странах Европы. В большинстве случаев проводится обработка инсектицидами против первого поколения, а затем дезориентация феромонными препаратами. Это позволяет исключить 3-4 обработки инсектицидами.

В нашей стране в 70-80 годах XX века разработаны препараты аценол К и аценол ШН, а также технология их применения для дезориентации восточной и сливовой плодовой жорки. Эти препараты при двукратном развешивании 500 диспенсеров на 1 га надёжно защищали персиковые сады без применения инсектицидов. ЗАО «Щелково Агрохим» владеет технологией производства этих препаратов.

Класс химических соединений, к которому относятся большинство используемых в практике феромонов – непредельные алифатические соединения это малотоксичные ве-

щества. Острая токсичность непредельных спиртов с числом углеродных атомов от 11 до 18 колеблется от 3 до 50 г/кг. Для ацетатов этих спиртов ЛД 50 от более 5 г/кг до 34,6 г/кг. Например, для цис-8-додеценилацетата ЛД 50 более 15г/кг(мыши), 22,5г/кг(крысы, самки), 25г/кг (крысы, самцы), для додеканола ЛД 50 28,24г/кг (крысы, самки), 26,575г/кг (крысы, самцы).

Из-за высокой летучести феромоны не задерживаются на растениях и других природных объектах. Остаточные количества на плодах определить не удаётся при нанесении более 120 г на 0,405 га. Попытка определить остаточные количества феромона выемчатокрылой моли показало, что в день применения на томатах содержалось 21-72 ppm феромона, на 30-й день определялось 0,29-1,2 ppm, после мойки томатов феромон на них не обнаруживался.

Учитывая низкую токсичность феромонов и малые дозы их при применении, в США и в странах Западной Европы не подлежат регистрации феромоны при применении в дозах менее 150г на 0,405 га. Не подлежат регистрации феромоны, используемые в ловушках для массового отлова и мониторинга. Если феромон используется совместно с инсектицидом по методу «привлечь и убить», такой препарат регистрируется с учётом опасности инсектицида. В нашей стране до сих пор требования для регистрации феромонов не отличаются от пестицидов. Многие требования положения о регистрации вообще невозможно отнести к феромонам. Это сильно затрудняет правильное оформление материалов для регистрации. Давно назрела необходимость разработать положение для регистрации феромонов и рассмотреть возможность разрешения применения феромонов для мониторинга в ловушках без регистрации. Кстати положение о регистрации феромонов существовало до 1990 года XX века и тогда, благодаря чему, в списке препаратов, разрешённых для применения, было 26 феромонов. В ныне

действующем списке имеется всего один-феромон короэда типографа. Даже перерегистрация феромонов яблонной, восточной, сливовой плодохорок, которые уже были зарегистрированы в 1985 году и всё время использовались для мониторинга, затягивается на годы по организационным причинам на уровне Госхимкомиссии и Минздрава РФ. Всё это в значительной степени сдерживает выпуск и применение феромонов в нашей стране. Производство феромонов имеет определенные особенности. Синтез действующих веществ требует развитой технологической базы, дорогостоящего оборудования, высокой культуры производства, высококвалифицированных специалистов химиков. Для целей мониторинга в объеме нашей страны достаточно синтезировать по несколько десятков или сотен граммов компонентов феромонов. Такой синтез целесообразно осуществлять в лабораторных условиях. Так это и организовано в ЗАО «Щелково Агрохим», который по заявкам организаций может выпускать комплекты ловушек для мониторинга сельскохозяйственных и лесных вредителей, более чем для 25 видов.

**Контрольные вопросы к теме:
«ФЕРОМОНЫ»**

1. Феромоны и их применение в агротехнологиях.
2. Классификация феромонов.
3. Мониторинг с помощью феромонов.
4. Массовый отлов насекомых с помощью феромонов.
5. Дезориентация насекомых с помощью феромонов.
6. Способ применения феромонов, названный «auto-confusion».
7. Особенности применения феромонов в современных агротехнологиях.
8. Практическое применение феромонов в агротехнологиях для защиты растений от вредителей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Биологически активные вещества в защите растений.-СПб.: ВИЗР,1999.
2. Возделывание озимой пшеницы с использованием обработки растений экзогенными регуляторами /В. В. Котляров, Ю. П. Федулов, Д. В. Котляров, Д. Ю. Донченко, Е. К. Яблонская //Труды КубГАУ. - 2012.- Вып. 36, т.1.
3. Иммунизирующие и рострегулирующие эффекты экзогенных аминокислот (электронный ресурс) / Т. А. Рябчинская, И. Ю. Бобрешова, Г. Л. Харченко, Н. А. Саранцева.-Режим доступа [http:// www.agroxxi.ru/gosudarstvenyi-katalog-pesticidov-i-agrohimikatov-2012/ribav-yekstra-p.html](http://www.agroxxi.ru/gosudarstvenyi-katalog-pesticidov-i-agrohimikatov-2012/ribav-yekstra-p.html)
4. Кефели В. И. Природные ингибиторы роста и фитогормоны.- М.: Наука ,1974.
5. Котляров В. В. Бактериальные болезни культурных растений: (учеб. пособие).- Краснодар: КубГАУ, 2008.
6. Котляров В. В. Физиология иммунитета растений.- Краснодар: КубГАУ, 2006.
7. Регуляторы роста растений в практике сельского хозяйства. О.А.Шаповал, В. В. Вакуленко, Л. Д. Прусакова, И. П. Можарова. - М.: ВНИИА, 2009.
8. Полифункциональное действие нового фитоактиватора стимул еф на яровом ячмене / Г. Л. Харченко, Т. А. Рябчинская, Н. А. Саранцева, И. Ю. Бобрешова//Перспективы использования новых форм удобрений, средств защиты растений и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур: (Материалы докл. 7-ой конф., Анапа, 2012), Москва-Анапа. - 2012.
9. Технология комплексного применения регуляторов роста и фунгицидов при выращивании сельскохозяйственных культур. О.А.Шаповал, В. В. Вакуленко, И. П. Можарова.-М.: ВНИИА, 2005.
10. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений /под. ред. Н.Н. Третьякова. М.: Колос. - 1998.
11. Шевелуха В. С. Рост растений и его регуляция в онтогенезе.- М.: Колос, 1992.

Учебное издание

Котляров Владимир Владиславович, Федулов Юрий Петрович, Доценко Клавдия Александровна, Котляров Денис Владимирович, Яблонская Елена Карленовна.

Применение физиологически активных веществ в агротехнологиях

В авторской редакции

Подписано в печать 19.10.2012.

Бумага офсетная.

Формат 60x84¹/₁₆. Тираж 500 экз. Усл. печ. л.- 11.

Учет изд. л.- 9,7. Заказ №

Типография Кубанского государственного аграрного
университета

350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13.

