

Перекись «в законе», или биологическая защита растений. Часть первая

Сложные проблемы иногда удастся решать очень простыми средствами. Дешевыми, безвредными, практически универсальными. Но, к сожалению, малоизвестными. Вернее, малознакомыми, так как значительная часть таких средств находится буквально у нас под носом, на расстоянии вытянутой руки. Но «всякая информация предполагает наличие адресата. «Информации вообще» не существует», как писал Станислав Лем. И мы часто не задумываемся о многих возможностях и свойствах веществ, привычных в быту. Именно потому, что привычка видеть только одну грань часто мешает рассмотреть другие грани.

Что среднестатистический гражданин может сказать о перекиси водорода? Скорее всего, ограничится упоминанием о том, что раствором перекиси обеззараживают порезы и ссадины. А также (если это среднестатистическая гражданка) упомянет, что перекись водорода «дешево и сердито» превращает брюнеток и шатенок в блондинок. А также используется для химической завивки волос.

Перекись водорода — фунгицид, бактерицид, источник кислорода

*И кто бы ты ни был,
Запомни, бедняга, —
Тобой управляют
Перо и бумага.*

Леонид Филатов

Но у перекиси водорода есть еще несколько способов применения», известных намного меньше. Например, в сельском хозяйстве многих стран перекись считается (заслуженно!) экологически безопасным фунгицидом, бактерицидом, стимулятором прорастания семян и аэратором почвы. В США, например, (BIOSAFE ,2010), препараты перекиси водорода зарегистрированы в качестве альгицидов, бактерицидов/бактериостатических препаратов, фунгицидов, нематоцидов, моллюскицидов, микробиоцидов, вирусоцидов, дезинфицирующих/стерилизующих средств широкого спектра действия. И все это «в одном флаконе» — как в прямом, так и в переносном смысле этого слова.



В сельском хозяйстве (растениеводстве) США препараты перекиси водорода официально используются с 1977 года. По данным Агентства по охране окружающей среды США (US EPA, 2014) в этой стране зарегистрировано 164 препарата, содержащих действующее вещество перекись водорода. Препараты используются не только для дезинфекции помещений и оборудования, но и для фунгицидной обработки семян и вегетирующих однолетних и многолетних растений в условиях открытого и защищенного грунта. Также препараты используются для внесения в почву.

Закон о производстве органических продуктов питания (Organic Foods Production Act, USDA Final Rule) разрешает использование препаратов перекиси водорода как в животноводстве, так и в растениеводстве. Кроме того, разрешается послеуборочная обработка перекисью продукции, которая маркируется как «органическая».



Канадский Совет по стандартам предусматривает применение перекиси водорода в органическом производстве. В соответствии с разделом 4.3: «Производство сельскохозяйственных культур и вспомогательных материалов,» перекись водорода не допускается при производстве кленового сиропа, но допускается для использования в качестве фунгицида на с/х культурах (CAN, 2011).

Международная федерация органического сельскохозяйственного движения (International Federation of Organic Agriculture Movements) также разрешает использование препаратов перекиси при производстве органической продукции животноводства и растениеводства в качестве дезинфектанта и фунгицида (IFOAM, 2014).

В Украине препараты перекиси водорода в растениеводстве официально не применяются и не зарегистрированы. Вполне возможно, что ситуация изменится. Поэтому зарубежный опыт может оказаться полезным и в нашей стране. Особенно учитывая тот факт, что перекись водорода — одно из немногих веществ, которое можно использовать в

производстве «органической» продукции. К тому же — весьма доступное по цене и реально безопасное для окружающей среды.

Аж два? О, два! Дайте два!

*Мироздание! Чьё же ты слово,
если нет у творца твоего
ничего беззащитней живого,
беспощадней живых – никого?!*

Юрий Ряшенцев

Перекись водорода — это прозрачная слегка вязкая бесцветная (в больших объемах — чуть синеватая) жидкость без вкуса и запаха. Она в 1,5 раза тяжелее воды и смешивается с ней в любых соотношениях.

Формула перекиси водорода – H_2O_2 . Не нужно быть знатоком химии, чтобы заметить, что по структуре она отличается от воды наличием еще одного атома кислорода. H_2O_2 относят к специфической группе веществ — активным формам кислорода (АФК, англ. Reactive oxygen species, ROS). Связь O—O непрочна, поэтому H_2O_2 — неустойчивое соединение с неспаренным электроном на внешнем электронном уровне. Перекись легко распадается на атомарный кислород и воду. При этом она действует как агрессивный окислитель, повреждающий белки клеточных мембран микроорганизмов, инактивируя ферменты и вмешиваясь в процессы обмена веществ (CDC, 2008).

Перекись водорода естественным путем синтезируется в растениях. Специализированные ферменты растений, известные как пероксидазы, продуцируют пероксид водорода для борьбы с болезнями. Кроме прочих (весьма важных и многочисленных) «обязанностей» перекись выполняет функцию «сигнальщика», оповещающего системы растения о абиотическом или биологическом стрессе. Кстати, экзогенная (то есть поступившая извне) перекись водорода также действует как своеобразный сигнал тревоги, активизируя неспецифический иммунитет растения. И, конечно же, «напрямую» действует на микроорганизмы при непосредственном контакте.

В концентрации 0,001–0,1% при комнатной температуре перекись угнетает рост микроорганизмов, а в концентрации 0,1% и выше действует как бактерицид/фунгицид. При использовании концентрированной (27%) перекиси водорода рабочий раствор для обработки вегетирующих растений обычно разводят в пропорции от 1: 100 до 1: 400 (BIOSAFE, 2010). При этом концентрация перекиси в готовом рабочем растворе находится в пределах от 0,3% (максимум) до 0,1% (минимум). При контакте с раствором перекиси такой концентрации в течении считанных минут происходит нарушение целостности оболочек бактериальных клеток.

Контроль различных видов грибных и бактериальных организмов предполагает существенные отличия в концентрации рабочего раствора и времени экспозиции. Для уничтожения спорообразующих бактерий, например, *B. subtilis*, требуются более высокие концентрации перекиси водорода и большая продолжительность контакта, чем для бактерий типа кишечной палочки (*E. Coli*). Каталазные ферменты, вырабатываемые аэробными организмами и некоторыми факультативными анаэробами, могут защищать клетки от действия перекиси водорода, разлагая это вещество на воду и кислород. Этот защитный механизм преодолевается повышением концентрации препарата в рабочем

растворе. Или использованием комбинации перекиси водорода с другими веществами (пероксиуксусной кислотой, например).

Рабочие растворы перекиси водорода в растениеводстве могут использоваться как источник кислорода для аэрации почвы, как бактерицид/фунгицид контактного действия, как стимулятор роста или элиситор (стимулятор иммунитета). При этом, по данным американских исследователей, период полураспада перекиси водорода в почве составляет от 4 до 7 часов, в нестерильной водной среде при доступе воздуха 1,1-5,3 часа и до 80 часов в стерильных водных условиях (US EPA, 2007). Под действием солнечного света в результате фотолиза период полураспада H_2O_2 составляет от 10 до 20 часов. Таким образом, на 2-3 сутки после внесения на поверхность растений или в почву практически вся перекись водорода распадается до абсолютно экологичных продуктов — воды и кислорода. Это позволяет использовать препараты перекиси не только на протяжении вегетации, но и непосредственно перед уборкой овощных и ягодных культур.

Концентрация и состав препаратов

*Уклады смешны. Но смешнее режимы.
Лишь краски и запах земли
решали и будут решать, и решили
все то, что вожди не смогли.*

Юрий Ряшенцев

Перекись водорода выпускается в Украине в виде трех препаратов: раствор перекиси водорода 3%-ный – самая популярная форма перекиси, которая продается в любой аптеке. Концентрированный 30% водный раствор пероксида водорода, стабилизированный добавлением фосфатов натрия, называется пергидролем. Выпускаемый в виде таблеток твёрдого клатрата с мочевиной пероксид водорода называется гидроперитом.

В США наиболее «ходовые» препараты содержат 27-30% перекиси. Шестьдесят восемь из 164 зарегистрированных в настоящее время препаратов, содержащих перекись водорода, дополнительно содержат еще одно действующее вещество — пероксиуксусную кислоту (US EPA, 2014). В США агентство по защите окружающей среды зарегистрировало пероксиуксусную кислоту в качестве противомикробного средства в 1985 г. Согласно органическим нормам USDA, в фунгицидах на основе перекиси водорода допускается присутствие не более 6%, пероксиуксусной кислоты.

Пероксиуксусная кислота окисляет и разрушает мембрану клетки бактерии/гриба, выделяя через гидроксил- ион ($HO\cdot$). Она устойчива к действию ферментов каталазы и пероксидазы, которые дезактивируют перекись водорода. Эффективна в широком интервале температур (0-40 °C) и pH (3.0-7.5), а также в «жесткой» воде. Пероксиуксусная кислота легко разрушается, превращаясь в безопасные для окружающей среды вещества (уксусную кислоту и пероксид водорода). То есть по воздействию на окружающую среду это химическое соединение вполне сопоставимо с перекисью водорода.

Некоторые препараты с широким спектром фунгицидного действия содержат, кроме перекиси водорода, также моно- и дикалиевые соли фосфористой кислоты (фосфиты). Известны также препараты, в состав которых входят салициловая, фосфорная, уксусная и лимонная кислоты.

Для адаптации технологии применения перекиси водорода к украинским реалиям (доступным препаратам), будут рассмотрены регламенты применения популярного в США препарата, содержащего 27% перекиси водорода. Любопытные читатели, желающие проверить достоверность американских рекомендаций, могут воспользоваться украинскими препаратами, содержащими 30% перекиси водорода. Или, при использовании «аптечной» 3% перекиси увеличить норму расхода препарата в 10 раз. То есть, если в рекомендациях предусмотрено внесение 1 л 27% перекиси в 400 л раствора, то для 30% препарата норма сохраняется, а для 3% препарата увеличивается до 10 л.

Аэрация почвы и реанимация «утопленников»

*Потоп – страшнее нет угрозы,
Но явны признаки беды,
Смертелен уровень воды,
Когда в неё впадают – слёзы!*

Валентин Гафт

H_2O_2 — неустойчивая молекула, при разрушении которой выделяется молекула воды и очень активный ион кислорода — кислород в атомарной форме. Этот атом соединяется с другим атомом кислорода, превращаясь в стабильную молекулу кислорода, O_2 . Либо выбирает себе другого «партнера», чаще всего — органического происхождения. Благодаря этому происходит окисление «мертвой» органики (листья, корни) и гумуса. А также повреждаются клеточные стенки живых организмов, благодаря чему перекись водорода уничтожает бактерии, грибы и водоросли.

Цель внесения раствора H_2O_2 в почву — либо улучшение аэрации (снабжения почвы/корней растений кислородом) или обеззараживание (уничтожение патогенов, прежде всего — анаэробов). С теми же целями перекись водорода используется в гидропонике.

И даже для рекультивации (биоремедиации) загрязненных нефтью почв. Для расщепления углеводов микроорганизмам необходимо наличие молекулярного кислорода. Поэтому для активизации деструкторов нефти в почвах обычно проводят принудительное аэрирование почвы механическим способом — рыхление. Но вспашка по ряду причин не может использоваться повсеместно. Источником кислорода на невспаханных почвах, может служить перекись водорода, которая разлагается под действием пероксидазы и каталазы микроорганизмов — деструкторов углеводов.



Но вернемся от заправок и хранилищ ГСМ в поля и теплицы. Корни растений нуждаются в кислороде для дыхания. Почва состоит из твердой фазы (частицы почвы), жидкой фазы

(вода и растворенные в ней вещества) и газообразной фазы. Жидкость и воздух являются конкурентами за объем, который не занят твердыми частицами. Жидкость имеет преимущество перед газом благодаря большей плотности и несопоставимой «весовой категории». Поэтому, если почва получает избыточное количество влаги, газообразная фаза оказывается «третьим лишним». Возникает избыток влаги при недостатке кислорода. Корни быстро расходуют тот объем кислорода, который был растворен в воде. И, если влажность почвы остается избыточной, им просто нечем дышать. Они способны кое-как жить без кислорода около суток, но затем растения начинают погибать. По мере того, как корни страдают от гипоксии, растения прекращают поглощение воды и питательных веществ. Соответственно, возникают симптомы, типичные для дефицита элементов питания (остановка роста, изменение цвета листьев и т. д.). Растения начнут вянуть, как будто им не хватает воды. Если подобная ситуация возникла на орошаемых площадях, агроном может сделать серьезную ошибку — провести полив. И собственноручно «добить» задыхающихся страдальцев, точнее — окончательно их утопить.

В гидропонной системе причиной дефицита кислорода является его недостаточная циркуляция и/или аэрации. Растворимость кислорода в воде обратно пропорциональна температуре питательного раствора. Поэтому повышение температуры более 20°C часто вызывает «удушье» у растений. Проявляются те же симптомы, что и у «утопленных» растений, выращиваемых в почве.

Здоровые корни должны быть преимущественно белого цвета, возможно — с легким желтоватым «загаром». Если их цвет — коричневый, а их кончики омертвели, то это признаки серьезной проблемы. А присутствие гнилостного запаха значительно уменьшает шансы на благоприятный исход.

По мере того, как корни отмирают и гниют, они «съедают» кислород из воды. Запасы кислорода истощаются и при активном росте анаэробных бактерий и грибов. Которые, в свою очередь, нуждаются в субстрате из отмерших растительных тканей. Таким образом, процесс превращается в «порочный круг» — гибель корней от недостатка кислорода в почве уменьшает запасы O₂ из-за процессов аэробного гниения. Это, в свою очередь, приводит к гибели еще большего количества растений.



Доступ кислорода к корневой системе можно обеспечить механическим рыхлением почвы. Но вязкая мокрая почва плохо поддается обработке, на рабочих органах культиватора или бороны налипают грунт, а след от прохода техники превращается в глубокую колею. Средством «адресной доставки» кислорода к страдающим от удушья корням является перекись водорода. Вместе с водой перекись водорода проникает в зону роста корней, а затем, при разрушении молекулы H₂O₂, влага почвы насыщается кислородом. Из 1 литра 30% перекиси водорода выделяется около 130 литров кислорода. Получается

своеобразная кислородная «газировка», в которой кислорода достаточно для поддержания жизнеспособности корней. Внесение 100-200 л/га рабочего раствора, содержащего 25 мл 3% перекиси на литр воды, обеспечивает эффект на протяжении 3-4 дней. Обычно рекомендуют проводить 2-3 полива перекисью для спасения затопленных растений.



Аналогичным методом решается вопрос дополнительной аэрации при выращивании растений на гидропонике. Поступление перекиси водорода в составе питательного раствора «реанимирует» полузадохнувшиеся корни. Но концентрация рабочего раствора перекиси обычно меньше, чем в открытом грунте — примерно 3 мл 3% перекиси на 1 л раствора.

Подобный метод используется иногда владельцами аквариумов для насыщения воды кислородом. Внесение раствора 3% перекиси водорода из расчета 40 мл/100 л воды помогает «разбудить» задышающуюся от нехватки кислорода рыбу.

Кстати, похожий принцип использования раствора перекиси для насыщения кислородом «изнутри» использовали в медицине. При нарушениях артериального кровообращения или поражении органов дыхания в середине прошлого века практиковали внутривенное введение слабого раствора перекиси для оксигенации крови. В этом случае венозная кровь выполняла функцию артериальной, снабжая кислородом органы и ткани, в которые по каким-то причинам не поступала в необходимом количестве артериальная кровь.

Корневые гнили и водоросли.

*И объяснил поэт исток печали:
– Конец мгновенья скрыт в его начале.
Меня спросил ты, и ответил я –
ещё две фразы в мире отзывали...*

Юрий Ряшенцев

Недостаток кислорода в почве стимулирует развитие анаэробных патогенов. Таких, например, как черная ножка (ризоктониоз) и некоторые виды корневых гнилей (питиозная, фитофторозная, переноспорозная). Корневая гниль развивается буквально за сутки, если корни растения находятся в стоячей воде с низким уровнем растворенного кислорода. Препараты перекиси водорода входят в «аптечку скорой помощи» для решения таких проблем. Кислород, выделяемый при распаде перекиси, действует как бактерицид/фунгицид, повреждая клеточные стенки патогенов. Кроме того, перекись водорода в комплексе с ферментом пероксидазой стимулирует иммунитет растения,

активизируя накопление фенолов и «бронирование» клеточных стенок лигнином. Канадский сайт по гидропонике говорит о перекиси водорода как о панацее от корневой гнили.

Дезинфицирующее и стимулирующее действие перекиси водорода на корневую систему при поражении корневыми гнилями усиливается при внесении фунгицидов группы бенонила (д.в. карбендазим, беномил) и водорастворимых фосфорных удобрений. При выращивании растений в закрытом грунте достаточно эффективным оказалось добавление 25-30 мл 3% перекиси (2 ст.л H_2O_2) на литр раствора удобрения 2 раза в неделю. При использовании концентрированной перекиси (от 27 до 35%) норма составляет около 3 мл/1 л рабочего раствора.

Эффект орошения раствором перекиси водорода растений закрытого грунта изучался (Webber III, C.L., Sandtner, S.J., Webber, C.L. 2007) на примере настурции. Для приготовления раствора исследователи использовали дистиллированную воду и различные нормы перекиси водорода. Было установлено, что добавление небольших норм перекиси (1,3 чайной ложки перекиси на галлон воды — примерно 10 мл/5 л воды) в воду для полива положительно повлияло на рост и развитие растений. При этом причина положительного эффекта не была выяснена окончательно. Высказывались предположения о том, что это результат фунгицидного действия раствора.

Использование перекиси водорода через систему капельного орошения полезно не только для растений, но и для оборудования. Перекись водорода является альгицидом, то есть в определенной концентрации убивает водоросли. Этим свойством перекиси успешно пользуются владельцы аквариумов. Но нежелательные водоросли (особенно сине-зеленые) создают неприятности не только в аквариуме, но и в системе капельного орошения, образуя вязкую слизь в капельницах. Для борьбы с водорослями используют «флашинг» — промыв капельных трубок потоком воды при открытом дальнем конце капельной ленты/трубки. Либо промывают капельные трубки раствором неорганических кислот (серной, азотной, фосфорной) или «хлоркой».

Использование для этой цели 0,1% раствора перекиси водорода безопаснее для окружающей среды и растений. Кроме того, «закипание» раствора перекиси водорода, то есть выделение пены/пузырьков газа способствует вымыванию минеральных частиц и налета органики из труднодоступных мест. Примерно так же используют эту особенность перекиси в медицине, очищая с ее помощью «труднодоступные места». Например, глубокие раны или «законопаченные» серой уши. Поэтому использование перекиси водорода при выращивании с/х культур «на капле» — интересная и перспективная тема. При таком способе использования перекись используется на 100% — как фунгицид/бактерицид/альгицид, как источник кислорода для растений и средство для очистки/промывки системы капельного орошения.

Всхожесть + стойкость.

*Я ловил всё, что скажут в Кремле.
Мной брошюрок прочитана масса.
Неужели же есть на земле
даже то, чего нету у Маркса?*

Юрий Ряшенцев

Новое, как известно, это качественно забытое старое. Водные растворы перекиси водорода для обработки семян озимой пшеницы для повышения всхожести и интенсивности прорастания предлагали использовать в далеком 1933 г. Затем, более чем с полувековым перерывом, перекись водорода вновь попытались популяризировать в 1980-1990 е годы как экологически безопасный стимулятор роста /фунгицид/бактерицид для обработки семян овощных и зерновых культур: пшеницы, риса, сахарной свеклы, томатов, картофеля. Перекись достаточно успешно применяли и на картофеле — обработка стимулировала образование крахмала. Был запатентован более стойкий препарат на основе перекиси — пероксисольват натрия. Но появление на мировом рынке множества коммерческих препаратов «задвинуло» перекись до уровня домашних пестицидов бренда «сделай сам» для дачников-огородников. Тем не менее, в США и Европе и в настоящий момент проводятся исследования перекиси водорода как препарата для предпосевной обработки семян. Причем исследователи дотошно изучают биохимические изменения в обработанных семенах и появившихся из них проростках, используя весь арсенал оборудования и возможности современной науки. К тому же, в отличие от Украины, в США и ЕС некоторые препараты перекиси имеют официальную регистрацию как фунгициды/бактерициды для протравливания посевного материала.

Перекись достаточно эффективна как контактный препарат против заболеваний, вызываемых представителями оомицетов (переноспоров, фитофтороз, питиозная гниль), с которыми нелегко справиться даже с помощью системных фунгицидов. А также с заболеваниями, которые вызывают бактерии.

Защитная функция перекиси не ограничивается кратковременным непосредственным действием на патогены. В ряде исследований отмечается, что растения, появившиеся из обработанных перед посевом раствором перекиси семян, отличаются повышенной стойкостью к неблагоприятным погодным условиям (засуха, засоление почвы и т. д.) и значительно меньше повреждаются грибными заболеваниями. То есть перекись действует как элиситор (индуктор) неспецифического иммунитета растений, заблаговременно подготавливая растения к неприятностям «взрослой жизни».

Предпосевная обработка семян перекисью водорода стимулирует их прорастание, способствует более быстрому и дружному появлению всходов. Один из механизмов стимулирующего действие перекиси обусловлен растворением твердых внешних оболочек семян, то есть перекись работает как химический скарификатор.



В материалах четвертого Международного симпозиума по семеноводству, трансплантации и технологии выращивания садовых культур (2008) упоминается успешное применение 15% перекиси водорода для замачивания на протяжении 18 часов семян многолетнего злака *Tripsacum dactyloides*. Прорастание семян ускорилось благодаря «растворению»

наружных оболочек и беспрепятственному поступлению воды внутрь семени. Обработанные семена проросли через две недели, а для необработанных семян минимальный срок появления составил 4 недели при условии предварительного длительного замачивания при низкой температуре.

Существует еще один механизм стимуляции прорастания семян, основанный не на внешнем, а на внутреннем воздействии — подавлении эффектов абсцизовой кислоты и активации гормонов роста зародыша. В США стимулирующее воздействие перекиси использует еще с 1970-х годов (Bonner, 1974) в экспресс-тесте для определения всхожести семян хвойных деревьев. Семена вымачивают в течение ночи в 1% растворе H_2O_2 . Затем семена надрезают, чтобы открыть кончик корешка и семена снова помещают в 1% раствор H_2O_2 в темноте при температуре 20 °-30 ° C). Окончательный вердикт — через 7-8 дней.

Перекись с успехом используется для стимуляции прорастания зерновых и зернобобовых культур. Обработка (замачивание) семян гороха в 30% растворе на протяжении 45 минут положительно повлияла не только на процент всхожести, длину и массу корешка через 5-6 дней, но и на основные биометрические показатели на протяжении дальнейшей вегетации (A. W. Helton, 1982). Обработка перекисью водорода другой концентрации (5, 10, 15, 20, 25%) или с другой экспозицией была эффективна в меньшей степени.

Более детальные (Gregorio Barba Espin, Pedro Díaz-Vivancos and all, 2010) исследования действия перекиси как стимулятора прорастания семян гороха раскрыли некоторые механизмы действия этого вещества. Всхожесть и энергия прорастания увеличивалась при повышении (до определенного уровня) концентрации перекиси водорода в рабочем растворе. Влияние H_2O_2 на прорастание было более выраженным при обработке семян в темноте, чем при естественном освещении. Обработка перекисью повлияла на окислительно-восстановительный («редокс») потенциал клеток проростков, и, как следствие этого, на баланс фитогормонов. Отмечалась уменьшение содержания абсцизовой кислоты и других «тормозящих» прорастание и рост веществ.



Японские исследования по обработке семян циннии (Ogawa, K., Iwabuchi, M, 2001) перекисью водорода выявили зависимость между нормой H_2O_2 и эффектом. Окисление ингибиторов прорастания, находящихся в околоплоднике семян при обработке H_2O_2 , способствует прорастанию семян. Антиоксиданты, которые являются производными хорошо известных ингибиторов прорастания, подавляют прорастание семян. На основании этого исследователи сделали вывод о том, что стимуляция прорастания семян обусловлена окислением ингибиторов роста или подавлением их синтеза при поступлении экзогенной перекиси водорода, указывая на то, что для инициирования прорастания семян ингибитор (ы) прорастания должен разлагаться таким окислителем, как H_2O_2 .

Многие исследователи экспериментальным путем доказали, что H_2O_2 активно «помогает» прорастанию семян ячменя, пшеницы и риса, причем ими были рассмотрены несколько механизмов действия перекиси (Naredo et al. 1998). В частности, исследователи из Турции и Ирана выявили повышение устойчивости растений, полученных из обработанных перекисью семян, к засолению почвы.

И, конечно же, овощные культуры тоже не остались без внимания. Обработка семян моркови перекисью водорода снижает их поражение болезнями (в т.ч. белой гнилью на 7,2%) благодаря стимуляции неспецифического иммунитета растений (Лящева Л. В. 2009). Обработка семян 0,1-0,4% растворами перекиси водорода увеличила сырую массу и содержание сухого вещества в надземной части и корнях. Растения, выращенные из семян, намоченных раствором перекиси водорода, в течение всего вегетационного периода по биометрическим показателям превосходили растения, выращенные из необработанных семян.

Обработка (замачивание) семян томатов 3% раствором перекиси водорода с экспозицией 40 минут повысило всхожесть семян, устойчивость к неблагоприятным погодным условиям и заболеваниям (Т. В. Баранова, В. Н. Калаев, А. А. Воронин, 2014). При использовании раствора перекиси водорода высота сеянцев увеличилась в большей степени, чем при применении традиционного коммерческого препарата (0,05% раствора эпинбрасинолида). Наблюдалось достоверное увеличение массы плодов и отсутствие поражения фитофторозом.

*Двух дам я подслушал, бродя по аллеям:
«Ах, Запад! Какие там люди, мой Божье!
Ты книгу последнюю Хемингуэя
Читала? Совсем старикан ведь, а может!»
Станислав Ежи Лец*

О фунгицидных и бактерицидных свойствах H_2O_2 , особенностях обработки вегетирующих овощных и плодово-ягодных культур — в следующей части статьи.

Александр Гончаров специально для ИА «Инфоиндустрия»

Перекись «в законе», или биологическая защита растений. Часть вторая

Фунгицидные и бактерицидные свойства перекиси водорода обусловлены не только прямым, но и косвенным действием этого вещества. Растворы перекиси водорода действуют на патоген, разрушая клеточные мембраны. При обработке инструмента/инвентаря, семян и почвы значение имеет именно этот вид воздействия. Но при обработке вегетирующих растений косвенное действие перекиси на растение имеет не меньшее значение, чем прямое влияние на патоген.

14 June 2017 / 12:06 (GMT+3)

Кислородные «активисты» и свободные радикалы

Часть фактов — это понять, что у нас есть проблема,

И часть фактов — это что мы с ней будем делать.

Джордж Буш

«Активные формы кислорода» (АФК) — это соединения, которые возникают в результате неполного восстановления O_2 . Наиболее значимые АФК — супероксидрадикал (O_2^-), озон O_3 , пероксид водорода H_2O_2 и гидроксил-радикал $OH\cdot$. «Живут» они недолго, но вполне способны стать причиной повреждения или гибели клеток растений, бактерий и грибов.

Перекись водорода может вступать в реакцию фосфолипидами клеточных мембран, «включая» процесс перекисного окисления липидов. При перекисном окислении липидов (ПОЛ) преимущественно окисляются ненасыщенные жирные кислоты. В процессе их окисления образуются свободные радикалы, что превращает реакцию в автокаталитическую, самоускоряющуюся.

Свободные радикалы — это нестабильные молекулы с неспаренным электроном. Такая нестабильная частица, сталкиваясь с другими молекулами, «крадет» у них электрон, что существенно изменяет структуру этих молекул. «Ограбленные» молекулы стремятся отнять электрон у других «полноценных» молекул, вследствие чего развивается разрушительная цепная реакция. Окислительный стресс нарушает целостность клеточных мембран, повреждает ДНК и митохондрии бактерий и грибов.

Стойкость организмов к действию активных форм кислорода (в частности, перекиси водорода) зависит от внешних и внутренних факторов. Высокая концентрация перекиси, длительная экспозиция (контакт рабочего раствора с патогеном) и отсутствие у конкретного вида бактерии или гриба эффективной антиоксидантной системы способствует практически 100% эффективности препарата.

Слабая антиоксидантная система бактерий, например, не в состоянии нейтрализовать действие перекиси водорода и продуктов ее взаимодействия с клеткой — свободных радикалов. Поэтому перекись заслуженно считается надежным бактерицидом. Дополнительным плюсом перекиси является ее способность разрушать биопленки — плотный налет бактериальных организмов, существенно уменьшающий их чувствительность к действию антибиотиков. Выделение кислорода при «кипении» перекиси водорода разрушает биопленки, позволяя уничтожить бактерии в ее нижнем слое.

Отсутствие эффективной антиоксидантной защиты у сине-зеленых (цианобактерии) и нитчатых видов водорослей позволяет использовать перекись водорода в качестве альгицида, то есть средства для уничтожения нежелательных видов водорослей. В этом качестве перекись

используют в аквариумах и промышленной аквакультуре, для очистки водоемов и систем капельного орошения.

Относящиеся к оомицетам возбудители питиозной корневой гнили, фитофтороза и переноспороза (ложной мучнистой росы) также являются «легкой мишенью» для перекиси водорода. Представители этой группы мицелиальных организмов по ряду признаков больше похожи на водоросли, чем на грибы. Поэтому систематики «депортировали» оомицеты из царства Fungi, но не определились, куда — или в царство Простейшие (Protista) или в царство Chromista, т.е. водоросли.

Грибы дружат с перекисью

Контролировать патогенные бактерии и оомицеты в посевах и насаждениях с/х культур проблематично. Спектр действия современных действующих веществ фунгицидов не предполагает бактерицидного действия. А тирам, каптан и манкоцеб, «рожденные» в середине 20 века, имеют ограничения по применению. Поэтому перекись водорода может занять пустующее место универсального безопасного (и «бюджетного») бактерицида и фунгицида. Но собственно фунгицидные свойства (за исключением контроля оомицетов) перекиси не впечатляют. Многие «настоящие» грибы способны жить в 1% растворе перекиси. Более того, при выращивании шляпочных грибов (шампиньонов, вешенки, шиитаке) раствор перекиси водорода используют как для обеззараживания субстрата, так и для защиты растущих грибов от поражения бактериальными и грибными заболеваниями. Связано это с тем, что мицелий большинства грибов «вооружен» активной ферментной системой, успешно нейтрализующей перекись. Споры грибов такой защитой не «оборудованы», поэтому профилактическая обработка раствором перекиси существенно уменьшает их шансы на прорастание. Именно по этой причине обработка вегетирующих растений проводится многократно, с интервалом не более 5-7 дней.

Перекись водорода, как упоминалось, действует не только прямо, но и косвенно. Именно косвенное воздействие, стимулирующее защитную реакцию растения, позволяет контролировать многие грибные организмы, «лобовая атака» на которые неэффективна. Парадоксально, но экзогенная перекись, попавшая на лист растения, вызывает усиленную выработку эндогенной перекиси. То есть растение реагирует на обработку пероксидом водорода синтезом своей перекиси. Впрочем, синтезируется не только перекись, но запускается весь каскад реакций, производящий активные формы кислорода.

Перекись сигнализирует «sos»

Я хотел бы, чтобы вы знали, что когда мы обсуждаем войну,

На самом деле мы обсуждаем мир.

Джордж Буш

Устойчивость растений к стрессу определяется их способностью быстро реагировать на опасную ситуацию увеличением синтеза активных форм кислорода (АФК) при высоком уровне антиоксидантной защиты. То есть растение должно быстро «разгоняться» и быстро «тормозить».

Усиление генерации АФК вызывают биотические стрессоры– поражение растений бактериями, грибами, микоплазмами. Эндогенная перекись водорода выполняет несколько функций в реакции растения на попытку «оккупации» патогеном. Благодаря «локальному применению» перекиси водорода в точке контакта с патогеном растение может уничтожить грибную или бактериальную инфекцию за счет реакции окисления. Перекисное окисление липидов не зря называют «окислительным взрывом». Патоген буквально «выгорает» при внедрении в растение.

Перекись включает каскад защитных реакций «профилактического» направления. H_2O_2 усиливает механическую прочность растительных клеточных стенок, непосредственно участвуя в синтезе лигнина из низкомолекулярных предшественников. Под воздействием перекиси происходит перекрестное «сшивание» белков-экстензинов клеточной стенки, содержащих гидроксипролин. Такое переплетение белковых структур выполняет роль «арматуры», каркаса для отложения лигнина.

Иногда для защиты от инфицирования растения используют своеобразный вариант «тактики выжженной земли», убивая собственные ткани в месте контакта с патогеном (апоптоз). Апоптозу подвергаются инфицированные клетки и клетки, окружающие инфицированный участок. Гибель клеток, примыкающих к проводящим пучкам листьев, создает механический барьер для распространения инфекции в проводящих путях. Мертвые сухие клетки создают физический барьер, который, кроме того, содержит антифугальные или бактериостатические вещества. Внешне эта реакция выражается в образовании на листьях мелких некротических пятен (точечных некрозов), которые существенно не влияют на работу фотосинтетического аппарата.

Такая защита, основанная на дозированном «самоубийстве», называется реакцией сверхчувствительности или гиперчувствительным ответом. Реакция сверхчувствительности типична, например, при инфицировании листьев устойчивых растений злаков возбудителями ржавчины и мучнистой росы.

В результате «включения» этого процесса формируется не только локальная «линия обороны», но системная индуцированная устойчивость всего растения. Появление устойчивости сопровождается синтезом PR (pathogenesis related) белков и фитоалексинов.

H_2O_2 активирует синтез салициловой кислоты, необходимой для формирования приобретенного иммунитета. Салициловая кислота подавляет синтез фермента каталазы, который в норме разлагает перекись на воду и молекулярный кислород. Это, в свою очередь, вызывает резкое

повышения содержания перекиси в клетках растения (при достаточном освещении). Что, в свою очередь, стимулирует синтез салициловой кислоты и этилена, необходимых для развития реакции сверхчувствительности и «включения» иммунитета растения. Таким образом, возникает замкнутый цикл «перекись водорода—салициловая кислота—перекись водорода».

Включение активных защитных реакций растения, то есть время реакции растения на инфицирование, определяется скоростью повышения эндогенной H_2O_2 и других АФК. Уровень АФК в тканях проростков пшеницы после заражения мучнистой росой возрастает уже через 2 часа (Hurkman, Tanaka, 1996). Такое же время потребовалось для реакции на *Aspergillus niger* в культуре клеток *Taxus chinensis* (Qin et al., 2005). А гипокотили огурца, показали максимум синтеза перекиси водорода уже через 30 мин после инфицирования (Kauss, Jeblick, 1996).

Для устойчивых растений характерна двухфазная кинетика появления АФК при инфицировании, причем второй пик повышения АФК выше и продолжительнее первого (Lamb, Dixon, 1997). Если растение не может остановить атаку патогена, то появляется и третий, максимальный пик содержания АФК. Так растение реагирует при неизбежном апоптозе — локальной гибели клеток в месте проникновения инфекции.

В взаимоотношениях мучнистая роса—ячмень, например, наблюдается 3 фазы увеличения продуцирования растением перекиси водорода и супероксид-аниона (Hckelhoven, Kogel, 2003). Первая фаза — локальное увеличение концентрации перекиси водорода в месте контакта с эпидермисом первичной ростковой трубки мучнисторосяного гриба (4 ч после инокуляции). За ним следует увеличение продукции перекиси в области аппрессория при попытке проникновения фитопатогена через 14 ч. Наконец, 3-я фаза наступает при индукции сверхчувствительности.

Более раннее накопление перекиси водорода и обусловленное им укрепление клеточной стенки способствует устойчивости растения к возбудителям мучнистой росы, септориоза листьев и прочим фитопатогенным грибам.

Если растение подготовить к неприятностям заранее, до инфицирования, то существует вероятность, что патоген не сможет даже «сделать первый шаг», наткнувшись на заранее выстроенный растением барьер. Спровоцировать растение на «включение» иммунитета можно за счет обработки вегетирующей культуры веществами, «запускающими» синтез АФК. В том числе — водным раствором перекиси водорода. Ведь, как говорил Джордж Буш, «Если мы не начнем войну, то рискуем проиграть».

Обработка растений перекисью водорода способствует усилению устойчивости к грибному (Hafez, Kirly, 2003) и вирусному фитопатогенам (Bacs et al., 2011), к холоду (Prasad et al., 1994; Feng et al., 2008), засухе (Ishibashi et al., 2011), засолению (Azevedo et al., 2005).

Поэтому подобное вмешательство может оказаться полезным не только как превентивная защита от грибных/бактериальных заболеваний, но и как профилактика абиотических стрессов. То есть перекись проявляет себя как универсальное «лекарство от всего».

О безопасности, нормах и сроках

Чтение — это не искусство, это наука.

Джордж Буш

Применение растворов перекиси водорода для обработки вегетирующих растений должно обеспечить компромисс между эффективным контролем патогенов и безопасностью для защищаемой культуры. Чувствительность культуры к перекиси зависит от возможности растения с помощью своей антиоксидантной системы нейтрализовать негативные эффекты воздействия АФК.

Кислородных «активистов» в клетке «успокаивают»: (1) супероксиддисмутаза, которая превращает супероксид в H_2O_2 ; (2) каталаза, разрушающая H_2O_2 до O_2 и H_2O ; (3) пероксидаза, использующая H_2O_2 для окисления определенных субстратов, (4) антиоксиданты типа витаминов Е, А и С, прерывающие цепные реакции, инициируемые свободными радикалами.

Образование АФК в клетке и их нейтрализация системами защиты должны находиться в состоянии динамического равновесия. Нарушение баланса этих процессов может привести к окислительному стрессу и повреждению или даже гибели растения. Поэтому рукотворный стресс, провоцирующий «включение» иммунитета растения, должен быть умеренным. H_2O_2 в малых концентрациях действующая как индуктор иммунитета, в высоких концентрациях вызывает быструю гибель клеток в месте контакта.

При обработке инвентаря, инструментов и оборудования, обеззараживания воды и дезинфекции систем капельного орошения концентрация рабочего раствора значения не имеет. При обработке семян концентрация перекиси в рабочем растворе может составлять от 1% до 3% без риска какого-либо ущерба. Полив высаженной рассады также возможен достаточно концентрированным раствором. Но для обработки вегетирующих растений концентрация перекиси в рабочем растворе находится в интервале от 0,3% (максимум) до 0,08 % (минимум).

Рекомендуется для приготовления рабочего раствора использовать чистую (без органических и минеральных примесей) воду с нейтральным pH. Значение pH можно определить с помощью pH-метра или лакмусовой бумаги (бумажных полосок). Для повышения эффективности раствора для листовых (фолиарных) обработок растений, имеющих восковой налет или опушение на

поверхности листьев, в раствор можно добавить неионное поверхностно-активное вещество. Как «эконом-вариант» можно использовать стиральный порошок.

Перекись водорода является сильным окислителем и может вступать в реакцию с остатками медьсодержащих фунгицидов или препаратов для листовой подкормки на основе неорганических солей металлов. Поэтому после обработки медным купоросом, бордосской жидкостью, гидроокисью или хлорокисью меди бак опрыскивателя необходимо очень тщательно промыть. Обработку раствором перекиси рекомендуют проводить не ранее суток после обработки медьсодержащими фунгицидами.

Перекись водорода в водном растворе быстро теряет свою активность, поэтому чем меньше интервал между приготовлением и внесением рабочего раствора, тем лучше.

Когда, куда и сколько?

Я и понятия не имел, что у нас так много оружия. Зачем оно нам?

Джордж Буш

Как уже упоминалось выше, обработка перекисью водорода действует и на патоген, и на растение. Подобная комбинация напоминает действия охраны на строго охраняемом объекте при проникновении посторонних. Выстрел часового не только наносит ущерб обнаруженному вору или «диверсанту», но сигнализирует всем «своим» о том, что обнаружена проблема. После этого «игра» становится «командной», то есть используется весь потенциал службы охраны объекта. «Забраться» на территорию оказывается трудно, «выбраться» с нее — ненамного легче.

Главное «правило успеха» при использовании препаратов перекиси водорода — работа на упреждение. Патогены должны уничтожаться до проникновения в растение, а не после. А культура должна постоянно быть «в тонусе». Поэтому обработки перекисью многократны и регулярны. В зависимости от вида и состояния культуры, посевы/посадки рекомендуют обрабатывать с интервалом от 1 до 2-3 раз в неделю.

Концентрация рабочего раствора при лечебном (куративном) опрыскивании, когда замечены симптомы болезни, составляет примерно 0,3%. То есть при использовании 3% перекиси ее разводят водой в соотношении 1 к 10, а при использовании 30-35% концентрата разводят в пропорции 1 к 100. В экстренных случаях можно использовать раствор с концентрацией до 0,8% перекиси, то есть разбавлять аптечную перекись в соотношении 1 к 4. Такую концентрацию

выдерживают ягоды (за исключением клубники), виноград, семечковые и косточковые культуры, овощи. В период цветения таким концентрированным раствором работать нельзя!

Для того, чтобы остановить развитие грибных или бактериальных заболеваний в благоприятных для их развития условиях, интервал между обработками не должен превышать 3-5 дней. После того, как визуальные симптомы заболевания исчезнут, можно переходить на более «расслабленный» режим профилактических обработок.

При профилактическом опрыскивании концентрация раствора в 3-4 раза меньше, чем при куративном. Вполне достаточно развести стандартную 3% аптечную перекись в пропорции 1 к 30-40, а 30% концентрат — 1 к 300-400 на растениях.

Проведение как минимум 4-5 обработок «безболезненно» вписывается в технологию выращивания овощных и плодовых культур, а также винограда и декоративных растений (цветов). Стандартные схемы защиты обычными фунгицидами предполагают проведение примерно такого же количества обработок, поэтому применение «нового» фунгицида практически не изменит «старую» технологию. На зерновых колосовых и бобовых культурах, а также на подсолнечнике необходимость проведения многократных обработок «напрягает», поэтому внесение перекиси на этих культурах можно рассматривать не как систему, а как один из элементов фунгицидной/бактерицидной защиты.

Какие грибные заболевания контролирует перекись? В большинстве рекомендаций “made in USA” приводится впечатляющий список: питиозная корневая гниль, фитофтороз, переноспороз (ложная мучнистая роса, милдью), настоящая мучнистая роса (оидиум, сферотека), альтернариоз, антракноз, ризоктониоз, серая гниль (ботридит), ржавчины. Научные исследования подтверждают эффективность использования перекиси водорода для контроля ржавчин на лилиях, фитофтороза на томатах и картофеле, мучнистой росы и септориоза на зерновых. Бактерицидные свойства перекиси сомнений не вызывают. Поэтому, как говорится, у перекиси «есть будущее».

Как правильно отметил Джордж Буш, “Я думаю, мы согласны, что прошлое прошло”. Поэтому обратим внимание на настоящее. И перечислим преимущества перекиси водорода как фунгицида/бактерицида в растениеводстве, используя подходящие фразы из устного творчества этого выдающегося оратора.

«Самоубийственные бомбежки усилились». Низкая токсичность и широкий спектр действия перекиси востребован в условиях, когда резистентность патогенов к «новым» фунгицидам ставит под сомнение целесообразность их использования, а высокая токсичность «старых» контактных препаратов не соответствует требованиям к безопасности.

«Это не загрязнение наносит вред окружающей среде, а те примеси, которые находятся в воздухе и воде». Перекись водорода разлагается на воду и кислород. Поэтому ее можно

использовать для поздних (в том числе и предуборочных) обработок. По той же причине адепты «модных» нынче «органических» и «экологически чистых» технологии выращивания с/х культур могут без угрызений совести защищать свои растения от болезней.

«Подавляющая часть нашего импорта поступает из заграницы». Таки да, исключение — это то, что делают на Малой Арнаутской и прочих подобных местах. Перекись производится в Украине, поэтому ее использование не только экологично, но и патриотично.

«Это ваши деньги, вы заплатили за них». Перекись водорода — доступный по цене препарат. При использовании 30% перекиси стоимость однократной обработки гектара не превышает 1 доллара США.

Александр Гончаров специально для ИА «Инфоиндустрия»