

УДК 581.13:631.811:581.1.036.2

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ХЕЛАТНОГО МИКРОУДОБРЕНИЯ «РЕАКОМ» И ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ НА АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ И ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРОРОСТКОВ ПРОСА

© 2009 г. **Т. О. Ястреб, А. И. Обозный,
Н. Н. Мирошниченко, Ю. Е. Колупаев**

*Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева
(Харьков, Украина)*

Исследовали влияние обработки семян растворами хелатного микроудобрения «Реаком», содержащего комплекс металлов-микроэлементов, янтарной кислоты и их комбинацией на теплоустойчивость проростков проса (*Panicum miliaceum* L.) и активность антиоксидантных ферментов. Обработка семян «Реакомом» вызывала существенное повышение теплоустойчивости проростков, эффект янтарной кислоты был менее значительным, но достоверным. При этом комбинированное воздействие растворов «Реакома» и янтарной кислоты приводило к большему повышению теплоустойчивости проростков по сравнению с влиянием каждого препарата в отдельности. В проростках, обработанных «Реакомом», отмечалось значительное повышение активности супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы. Янтарная кислота также стимулировала активность антиоксидантных ферментов. При совместном воздействии «Реакома» и янтарной кислоты в проростках отмечалось дополнительное повышение активности пероксидазы при незначительном снижении активности каталазы. Обсуждаются механизмы повышения устойчивости растений к абиотическим стрессорам под влиянием микроэлементов и янтарной кислоты в связи с функционированием антиоксидантной системы.

Ключевые слова: *Panicum miliaceum* L., металлы-микроэлементы, микроудобрение «Реаком», янтарная кислота, теплоустойчивость, супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза

Ныне накоплено довольно много сведений о влиянии микроэлементов на устойчивость растений к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам среды (Битюцкий, 2005; Микроэлементы ..., 2007). С другой стороны, известно, что как дефицит, так и избыток металлов-микроэлементов сами по себе являются для растений стресс-факторами (Битюцкий, 2005; Ding et al., 2005; Panda, Khan, 2003; Wang, Jin, 2005).

Несмотря на весьма интенсивное применение микроудобрений в практике растениеводства, механизмы индуцирования устойчиво-

сти растений к стрессорам действием микроэлементов и их комплексов остаются малоизученными.

Окислительный стресс – явление устойчивого увеличения содержания активных форм кислорода (АФК) в растительных тканях (Колупаев, 2007) – возникает в ответ на воздействие на растения самых разнообразных неблагоприятных факторов. В умеренных количествах АФК выполняют функции сигнальных интермедиатов, индуцирующих разнообразные клеточные реакции, в т.ч. адаптивные (Dat et al., 2000; Suzuki, Mittler, 2006). В то же время избыток АФК, образующихся под действием стрессоров, может вызывать в растительных тканях каскад неблагоприятных изменений, связанных с повреждением активным кислородом биомакромолекул и мембранных структур (Finkel, Holbrook, 2000; Scandalios, 2005). В свя-

Адрес для корреспонденции: Ястреб Татьяна Олеговна, Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева, п/о «Коммунист-1», Харьков, 62483, Украина;
e-mail: t_howk@ukr.net

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ХЕЛАТНОГО МИКРОУДОБРЕНИЯ

зи с этим воздействия, индуцирующие антиоксидантные ферменты, которые обезвреживают АФК, могут повышать устойчивость растений к разнообразным стрессорам. Способностью к индуцированию антиоксидантных ферментов обладает ряд металлов-микроэлементов, многие из них входят в состав активных центров оксидоредуктаз.

Так, например, один из основных антиоксидантных ферментов супероксиддисмутаза (СОД), превращающая супероксидный радикал в пероксид водорода, представлена в растениях тремя формами, содержащими в активных центрах соответственно Cu/Zn, Fe, Mn (Alscher et al., 2002). Имеются сведения о повышении активности СОД в растениях в ответ на внесение в среду цинка, меди, марганца (Panda, Khan, 2003; Wang, Jin, 2005). Каталаза и пероксидаза, обезвреживающие пероксид водорода, содержат в своем составе гем (Рогожин, 2004; Willekens, 1997), их активность зависит от наличия в среде как доступного железа, так и других металлов-микроэлементов (Битюцкий, 2005).

В настоящее время в практике растениеводства отдают предпочтение использованию микроудобрений, содержащих весь набор микроэлементов в виде хелатных комплексов (Битюцкий, 2005). Единственными подобными отечественными препаратами являются микроудобрения торговой марки «Реаком», которые представляют собой водные высококонцентрированные растворы 1-гидроксиэтилендендифосфонатов металлов: Fe^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Mo^{6+} , а также B^{3+} (Микроэлементы..., 2007). В полевых опытах установлено положительное влияние этих микроудобрений на урожайность зерновых и других культур, а также на устойчивость к грибным болезням (Микроэлементы..., 2007).

В последние годы начато исследование сочетанного действия микроудобрений «Реаком» с другими физиологически активными веществами, в частности с янтарной кислотой (Микроэлементы..., 2007). Известно, что янтарная кислота сама по себе обладает способностью увеличивать всхожесть семян ряда растений и повышать их урожайность, особенно в стрессовых условиях (Максютова, Яковлева, 1998; Самуилов, Юнусов, 2000; Тарчевский и др., 1999). Показано положительное влияние сочетания «Реакома» и янтарной кислоты на урожайность салата, продуктивность и качество винограда (Микроэлементы..., 2007).

Вместе с тем специальных исследований действия микроудобрения «Реаком» как в отдельности, так и в сочетании с органическими физиологически активными веществами на устойчивость растений к абиотическим стрессорам до сих пор не проводилось. В связи с этим целью настоящей работы явилось изучение влияния предпосевной обработки семян растениями препарата «Реаком» и янтарной кислоты на устойчивость проростков проса к действию высоких температур. С учетом имеющихся сведений о влиянии как микроэлементов (Ding et al., 2005; Wang, Jin et al., 2005), так и янтарной кислоты (Тарчевский и др., 1999) на состояние антиоксидантной системы растений также исследовали их действие на активность ключевых антиоксидантных ферментов – СОД, каталазы и пероксидазы в проростках проса в физиологически нормальных условиях и при гипертермии.

МЕТОДИКА

Предпосевную обработку семян проса сорта Константиновское проводили путем их погружения в растворы соответствующих препаратов. Затем семена высушивали в течение суток. В это время происходило их набухание за счет поглощения раствора, оставшегося на их поверхности после замачивания. Для обработки семян использовали микроудобрение «Реаком-С-зерно» (жидкий препарат) в концентрации 3 %, раствор янтарной кислоты в концентрации 1 мМ либо комбинацию растворов этих препаратов. Концентрацию янтарной кислоты, максимально увеличивающую теплоустойчивость проростков проса, выбирали на основании предварительных опытов, дозу «Реакома» - в соответствии с рекомендациями производителя (Микроэлементы..., 2007). Контрольные образцы семян обрабатывали водой. Для экспериментов использовали четырехсуточные этиолированные проростки.

В предварительных экспериментах оценивали влияние препаратов на рост и развитие проростков по стандартным методикам, определяя длину побегов и корней, сырую массу проростков и время выхода первого листа из coleoptилия.

Высокотемпературный стресс создавали путем прогрева проростков в ванне ультратермостата при температуре 47°C в течение 10 мин. Такой режим высокотемпературной обработки, вызывающий гибель приблизительно 50 % проростков в контрольном варианте, был выбран на основании результатов предварите-

льных опытов. Через 1 сут после прогрева проростки выставляли на рассеянный свет (3000 лк) для отрастания и еще через 5 сут оценивали количество выживших растений.

Активность СОД (КФ 1.15.1.1), каталазы (КФ 1.11.1.6) и пероксидазы (КФ 1.11.1.7) определяли в побегах проростков через 1 и 24 ч после нагрева. В это время еще не проявлялись визуально заметные повреждения растений. Параллельно определяли активность ферментов в побегах проростков такого же возраста, которые не подвергались нагреву.

Для определения активности СОД навеску побегов гомогенизировали в 0,15 М фосфатном буфере (рН 7,8) с добавлением детергента тритона X-100 в конечной концентрации 0,1 %. Гомогенат центрифугировали в течение 15 мин при 7000 г. Активность фермента определяли, используя метод, в основе которого способность СОД конкурировать с нитросиним тетразолием за супероксид-анионы, которые образуются в результате аэробного взаимодействия НАДН и феназинметасульфата (Чевари и др., 1985). Оптическую плотность определяли при длине волны 530 нм.

Активность каталазы определяли по методике Баха и Опарина (Филиппович и др., 1982). Навеску побегов гомогенизировали в 0,1 М фосфатном буфере (рН 7,0). Гомогенат центрифугировали 15 мин при 7000 г. Супернатант использовали в качестве ферментного препарата. Активность определяли по количеству разложившегося пероксида водорода. Концентрацию последнего в пробах устанавливали

путем перманганатометрического титрования.

Активность растворимой пероксидазы определяли по методу Риджа и Осборна (Ridge, Osborne, 1970) с некоторыми изменениями. Растительный материал гомогенизировали в 0,06 М К₂Na-фосфатном буфере Серенсена (рН 6,2). Активность фермента определяли в супернатанте после центрифугирования гомогената при 7000 г в течение 15 мин. В качестве донора водорода использовали гваякол, в качестве субстрата – пероксид водорода. Оптическую плотность окрашенного продукта измеряли при длине волны 440 нм.

Повторность независимых опытов при оценке активности ферментов была четырехкратной, при определении выживания – семикратной (при n ≥ 30). На рисунках приведены средние значения и их стандартные отклонения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В предварительных экспериментах оценивали влияние обработки семян исследуемыми препаратами на рост и развитие проростков проса. В варианте с обработкой семян «Реакомом» отмечалось некоторое (на 18-23%) уменьшение длины четырехсуточных проростков, хотя их сырая масса достоверно не изменялась (результаты не приводятся). В дальнейшем ростовые эффекты «Реакома» постепенно нивелировались. Янтарная кислота не оказывала достоверного влияния на рост проростков проса, а при комбинированном действии с «Реакомом» не изменяла ростовые эффекты микроудобрения. Исследуемые препараты не влияли на выход первого листа проростка из колеоптиля.

Обработка семян микроудобрением «Реаком» вызывала значительное повышение теплоустойчивости проростков (рис. 1). Воздействие янтарной кислотой само по себе незначительно, хотя и достоверно увеличивало процент проростков, выживших после жесткого теплового стресса. При комбинированном воздействии «Реакома» и янтарной кислоты отмечалось дополнительное увеличение процента выживания проростков по сравнению с вариантом с одним «Реакомом» (рис. 1).

После повреждающего нагрева происходило некоторое повышение активности СОД в побегах контрольных (без обработки препаратами) проростков (рис. 2А). В это же время в проростках контрольного варианта, которые не подвергались нагреву, активность СОД существенно не изменялась. Обработка семян «Реа-

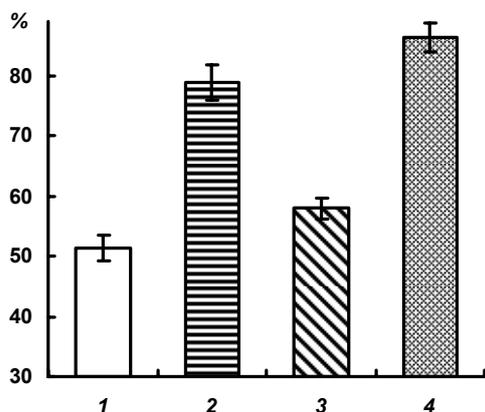


Рис. 1. Выживание (%) проростков проса после повреждающего нагрева (47°C, 10 мин).

Здесь и на рис. 2: 1 – контроль (вода); 2 – «Реаком-С-зерно» (3%); 3 – янтарная кислота (1 мМ), 4 – «Реаком-С-зерно» (3%) + янтарная кислота (1 мМ).

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ХЕЛАТНОГО МИКРОУДОБРЕНИЯ

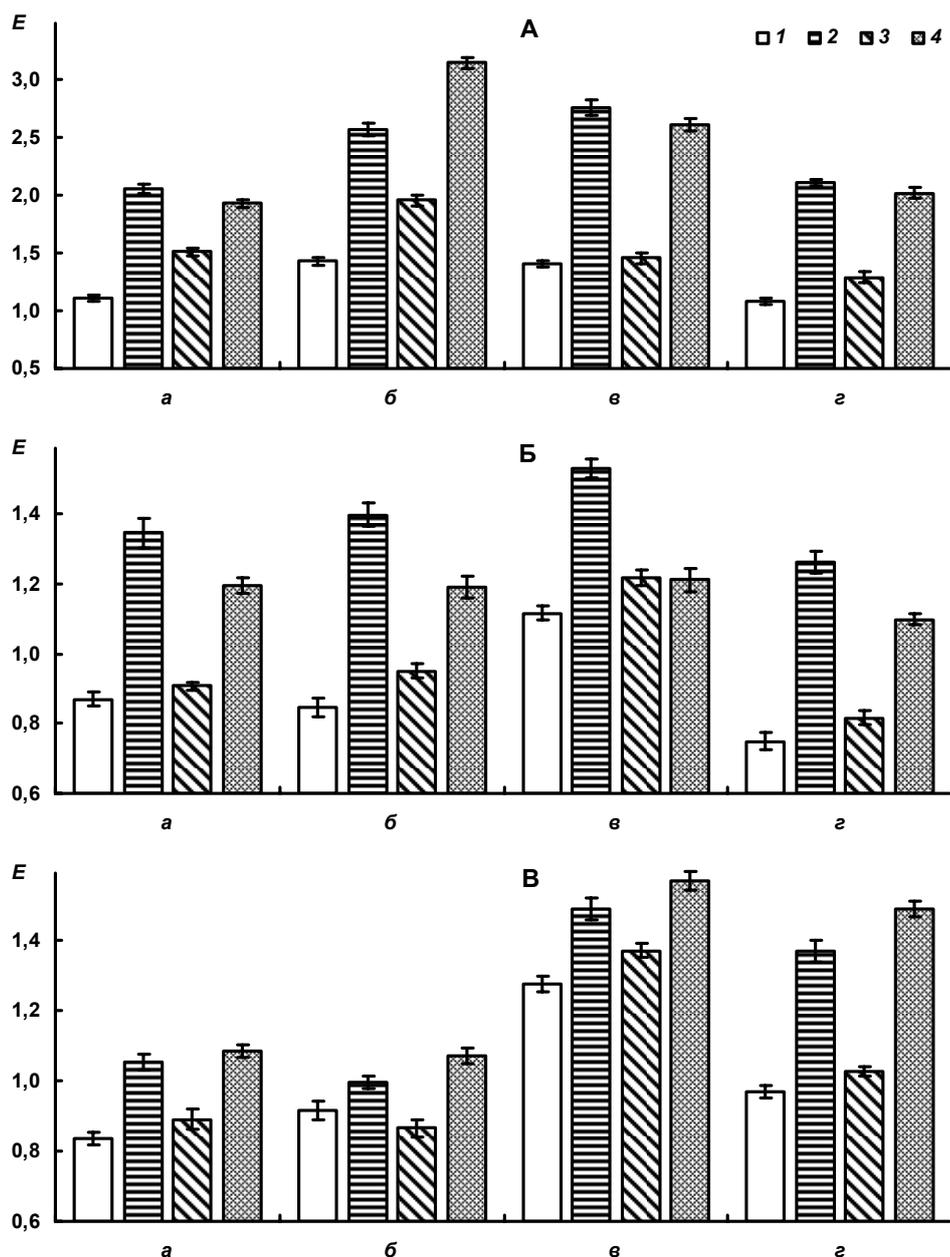


Рис. 2. Активность (E , условн. ед/(г · мин)) супероксиддисмутазы (А), каталазы (Б) и растворимой пероксидазы (В) в побегах проростков проса.

а – до нагрева; *б, в* – соответственно через 1 и 24 ч после нагрева; *г* – через 24 ч инкубации проростков, не подвергнутых прогреву. Остальные обозначения как на рис. 1.

комом» вызывала почти двукратное увеличение активности СОД. Существенной была разница в варианте с «Реакомом» по сравнению с соответствующими значениями в контроле и после повреждающего нагрева. В проростках из семян, обработанных янтарной кислотой, также отмечалось повышение активности СОД. Через 1 ч после нагрева в проростках этого варианта отмечалось дополнительное увеличение активности СОД, хотя через 24 ч после нагрева активность фермента в проростках варианта с янтарной кислотой не отличалась от соответствующей

шего контроля (рис. 2А). При комбинированной обработке семян «Реакомом» и янтарной кислотой значения активности СОД существенно не отличались от соответствующих величин в варианте с одним «Реакомом». Лишь через 1 ч после нагрева величина активности в варианте с одновременной обработкой семян янтарной кислотой и «Реакомом» была выше, чем варианте с действием только «Реакома».

Активность каталазы в побегах проростков контрольного варианта (без обработки пре-

паратами) в период наблюдений существенно не изменялась (рис. 2Б). Через 1 ч после нагрева в образцах этого варианта также не наблюдалось существенных изменений активности фермента, в то же время через 24 ч после нагрева имело место повышение активности каталазы. Воздействие «Реакома» само по себе вызывало увеличение активности фермента приблизительно в 1,5 раза. Повышенная по сравнению с соответствующими значениями в контроле активность каталазы отмечалась и через 1 и 24 ч после нагрева проростков. Обработка семян янтарной кислотой вызывала некоторое повышение активности фермента, которое проявлялось и после нагрева проростков (рис. 2Б). В то же время в варианте с комбинированной обработкой семян «Реакомом» и янтарной кислотой значения активности каталазы во всех точках наблюдений были ниже, чем в варианте с одним «Реакомом», хотя и значительно превышали величины контрольного варианта.

В побегках проростков контрольного варианта отмечалось некоторое увеличение активности пероксидазы в течение 24 ч наблюдений (рис. 2В), что может быть связано с развитием проростков (Колупаев, Карпец, 2006). Тепловой стресс вызывал увеличение активности фермента, заметное через 24 ч после нагрева. Под влиянием обработки семян «Реакомом» происходило небольшое увеличение активности фермента. После нагрева в проростках из семян, обработанных микроудобрением, отмечались более высокие значения активности пероксидазы по сравнению с соответствующими величинами контрольного варианта (рис. 2В). Янтарная кислота практически не оказывала влияния на активность пероксидазы как в проростках, которые не подвергались нагреву, так и после воздействия на них гипертермии. В то же время при сочетанном действии «Реакома» и янтарной кислоты на всех фазах опыта наблюдались более высокие значения активности пероксидазы по сравнению с вариантами с обработкой семян «Реакомом» и янтарной кислотой в отдельности (рис. 2 В).

Таким образом, обработка семян проса как «Реакомом», так и янтарной кислотой вызывали существенное повышение теплоустойчивости проростков проса на ранних фазах развития. Такой эффект микроудобрения и сукцината может быть связан с их влиянием на функционирование ферментативной антиоксидантной системы. Ее индуцирование «Реакомом» может быть связано в первую очередь с наличием в его составе металлов-микроэлементов с

переменной валентностью (железо, медь, марганец, молибден, кобальт), которые при определенных условиях могут вызывать эффект умеренного окислительного стресса (Dat et al., 2000). Ответной реакцией на возникновение окислительного стресса может быть активация антиоксидантных ферментов (Колупаев, 2007; Dat et al., 2000), что и наблюдалось в условиях наших экспериментов (рис. 2). Кроме того, как уже упоминалось, названные микроэлементы с переменной валентностью, а также цинк, входят в состав ферментов оксидоредуктаз. В связи с этим повышенное их содержание может способствовать синтезу соответствующих металлоферментов, в частности, изучаемой нами СОД, различные формы которой содержат Cu, Zn, Mn, Fe, а также гемосодержащих пероксидазы и каталазы.

С другой стороны, янтарная кислота, обладающая способностью ингибировать каталазу растений в системе *in vitro* (Гарчевский и др., 1999), может вызывать кратковременное усиление накопления пероксида водорода и, как следствие, активировать синтез каталазы и, возможно, других антиоксидантных ферментов.

Индуцирование антиоксидантных ферментов может быть одной из вероятных причин повышения устойчивости проростков проса к абиотическому стрессу – действию гипертермии, поскольку, как уже упоминалось, чрезмерное развитие окислительного стресса, сопровождающего влияние различных неблагоприятных факторов, может вызывать необратимые повреждения растительных тканей.

В варианте с совместным действием микроудобрения «Реаком» и янтарной кислоты отмечалось дополнительное увеличение теплоустойчивости (рис. 1). При сочетанном действии «Реакома» и сукцината в большинстве фаз эксперимента активность СОД существенно не отличалась от соответствующих величин варианта с одним «Реакомом» (рис 2А). Активность каталазы в проростках, полученных из семян, обработанных микроудобрением и янтарной кислотой, была ниже, чем в варианте с обработкой только «Реакомом» (рис. 2 Б), в то же время активность пероксидазы после сочетанной обработки микроудобрением и сукцинатом была выше, чем в варианте с действием одного микроудобрения. Можно полагать, что действие как микроэлементов удобрения «Реаком», так и янтарной кислоты не ограничивается изучаемыми нами антиоксидантными ферментами и, что вполне естественно, имеет более сложный характер. В то же время не исключено, что

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ХЕЛАТНОГО МИКРОУДОБРЕНИЯ

изменение соотношения между активностями отдельных ферментов, в частности, наблюдаемое нами «переключение» метаболизма пероксида водорода с каталазных реакций на пероксидазные в варианте с комбинированным действием «Реакома» и янтарной кислоты (рис. 2 Б, В) может способствовать развитию дополнительных защитных реакций. Это связано с тем, что пероксидазы при разрушении пероксида водорода используют в качестве восстановителей различные соединения. Как известно, субстратами пероксидаз являются различные фенольные вещества, некоторые фитогормоны, их окисление может приводить к разнообразным физиологическим эффектам (Рогожин, 2004; Савич, 1989). Пероксидазы могут быть причастны к регуляции образования «стрессового» этилена и, как следствие, к возникновению индуцируемых им реакций (Андреева, 1988). Кроме того, отдельные формы пероксидазы в присутствии избытка восстановителей могут выступать в роли не нейтрализаторов, а продуцентов АФК – супероксидного радикала и пероксида водорода (Минибаева, Гордон, 2003). Последние могут выполнять функции внутриклеточных мессенджеров, влияющих на функциональную активность генов, участвующих в формировании защитных реакций. Однако для обоснования данного предположения необходимы специальные исследования, в частности, определение активности пероксидаз в различных компартментах растительных клеток и анализ генерации АФК.

Таким образом, как комплексное удобрение, содержащее металлы-микроэлементы, так и янтарная кислота, способствовали повышению активности антиоксидантных ферментов и развитию теплоустойчивости проростков проса. При сочетанном действии микроэлементов и янтарной кислоты отмечалось дополнительное повышение теплоустойчивости растений. Для выяснения причин этого эффекта необходимы дальнейшие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

Андреева В. А. Фермент пероксидаза: Участие в защитном механизме растений. – М.: Наука, 1988. – 128 с.

Битюцкий Н.П. Необходимые микроэлементы растений. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2005. – 255 с.

Колупаев Ю.Е. Активные формы кислорода в растениях при действии стрессоров: образование и возможные функции // Вісн. Харків. націон. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2007. – Вип. 3 (12). – С. 6-26.

Колупаев Ю.С., Карпец Ю.В. Индукування саліциловою кислотою тепло- і солестійкості проростків *Triticum aestivum* L. у зв'язку зі змінами прооксидантно-антиоксидантної рівноваги // Укр. ботан. журн. – 2006. – Т. 63, № 4. – С. 558-565.

Максютова Н.Н., Яковлева В.Г. Действие экзогенной янтарной кислоты на растения // Проблемы ботаники на рубеже 20-21 веков. – М., 1998. – С. 179.

Микроэлементы в сельском хозяйстве / Булыгин С.Ю., Демишев Л.Ф., Доронин В.А. и др. – Днепропетровск: Січ, 2007. – 99 с.

Минибаева Ф.В., Гордон Л.Х. Продукция супероксида и активность внеклеточной пероксидазы в растительных тканях при стрессе // Физиология растений. – 2003. – Т. 50, № 3. – С. 459-464.

Рогожин В.В. Пероксидаза как компонент антиоксидантной системы живых организмов. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 240 с.

Савич И.М. Пероксидазы – стрессовые белки растений // Успехи соврем. биологии. – 1989. – Т. 107, вып. 3. – С. 406-417.

Самуилов Ф.Д., Юнусов Р.А. Влияние регуляторов роста и хелатов микроэлементов при инкрустации семян на продуктивность сахарной свеклы // Докл. РАСХН. – 2000. – № 3. – С. 18-20.

Тарчевский И.А., Максютлова Н.Н., Яковлева В.Г., Гречкин А.Н. Янтарная кислота – миметик салициловой кислоты // Физиология растений. – 1999. – Т. 46, № 1. – С. 23-28.

Филиппович Ю.В., Егорова Т.А., Севастьянова Г.А. Практикум по биохимии. – М.: Просвещение, 1982. – 312 с.

Чевари С., Чаба И., Секей Й. Роль супероксиддисмутазы в окислительных процессах клетки и метод определения ее в биологических материалах // Лаб. дело. – 1985. – № 11. – С. 678-681.

Alscher R.G., Erturk N., Heath L.S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress plants // J. Exp. Bot. – 2002. – V. 53, № 372. – P. 1331-1341.

Dat J., Vandenabeele S., Vranova E. et al. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses // Cell. Mol. Life Sci. – 2000. – V. 57. – P. 779-795.

Ding H., Zhu W., Yang S., Yang X. Dynamic changes in antioxidative systems in roots of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedling under zinc stress and recovery // Yingyong yu huanjing shengwu xuebao – 2005. – V. 11, № 5. – P. 531-535.

Finkel T., Holbrook N.J. Oxidants, oxidative stress and the biology of aging // Nature. – 2000. – V. 408. – P. 239-247.

- Panda S.K., Khan M.H.* Induction of oxidative stress in *Triticum aestivum* seedlings grown under nutritional deficiency // *Indian J. Agr. Biochem.* 2003. – V. 16, № 1. – P. 53-54.
- Ridge I., Osborne D. J.* Hydroxyproline and peroxidases in cell wall of *Pisum sativum*: regulation by ethylene // *J. Exp. Bot.* – 1970. – V. 45. – P. 843-856.
- Scandalios J.G.* Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses // *Braz. J. Med. and Biol. Res.* – 2005. – V. 38, № 7. – P. 995-1014.
- Suzuki N, Mittler R.* Reactive oxygen species and temperature stresses: A delicate balance between signaling and destruction // *Physiol. Plant.* – 2006. – V. 126. – P. 45-51.
- Wang H., Jin J.Y.* Photosynthetic rate, chlorophyll fluorescence parameters, and lipid peroxidation of maize leaves as affected by zinc deficiency // *Photosynthetica.* – 2005. – V. 43, № 4. – P. 591-596.
- Willekens H.* Catalase is a sink for H₂O₂ and is indispensable for stress defense in C-3 plants // *EMBO J.* – 1997. – V. 16. – P. 4806-4816.

Поступила в редакцію
12.10.2009 г.

INFLUENCE OF COMPLEX CHELATE MICROFERTILIZER "REAKOM" AND SUCCINIC ACID ON ACTIVITY OF ANTIOXIDATIVE ENZYMES AND HEAT RESISTANCE OF MILLET PLANTLETS

T. O. Yastreba, O. I. Oboznyi,
M. M. Miroshnichenko, Yu. Ye. Kolupaev

*V.V. Dokuchayev Kharkiv National Agrarian University
(Kharkiv, Ukraine)*

The influence of seeds treatment with the solutions of chelate microfertilizer "Reakom" containing the complex of metals-microelements, succinic acid and their combination on the heat resistance of millet (*Panicum miliaceum* L.) plantlets and activity of antioxidative enzymes have been investigated. The treatment of seeds with "Reakom" caused essential increase of plantlets heat resistance, the effect of succinic acid was less, but significant as well. Thus the combined influence of solutions of "Reakom" and succinic acid led to greater increase of plantlets heat resistance in comparison with influence of each preparation separately. In the treated plantlets with "Reakom" substantial increase of activity of superoxide dismutase, catalase and peroxidase was registered. The succinic acid stimulated activity of antioxidative enzymes too. Under the combined influence of "Reakom" and succinic acid the additional increase of peroxidase activity and insignificant lowering of catalase activity were registered in plantlets. The mechanisms of increase of plants resistance to abiotic stressors under the influence of microelements and succinic acid in connection with functioning of antioxidative system are discussed.

Key words: *Panicum miliaceum* L., metals-microelements, microfertilizer "Reakom", succinic acid, heat resistance, superoxide dismutase, catalase, peroxidase

ВПЛИВ КОМПЛЕКСНОГО ХЕЛАТНОГО МІКРОДОБРИВА «РЕАКОМ» І ЯНТАРНОЇ КИСЛОТИ НА АКТИВНІСТЬ АНТИОКСИДАНТНИХ ФЕРМЕНТІВ І ТЕПЛОСТІЙКІСТЬ ПРОРОСТКІВ ПРОСА

Т. О. Ястреб, О. І. Обозний,
М. М. Мірошніченко, Ю. Є. Колупаєв

*Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва
(Харків, Україна)*

Досліджували вплив обробки насіння розчинами хелатного мікродобрива «Реаком», що містить комплекс металів-мікроелементів, янтарної кислоти та їх комбінацією на теплостійкість проростків проса (*Panicum miliaceum* L.) і активність антиоксидантних ферментів. Обробка насіння «Реакомом» спричиняла істотне підвищення теплостійкості проростків, ефект янтарної кислоти був менш значним, але достовірним. При цьому комбінована дія розчинів «Реа-

ЯСТРЕБ и др.

кому» і янтарної кислоти призводила до більшого підвищення теплостійкості проростків порівняно з впливом кожного препарату окремо. У проростках, оброблених «Реакомом», відзначалося істотне підвищення активності супероксиддисмутази, каталази і пероксидази. Янтарна кислота також стимулювала активність антиоксидантних ферментів. За сумісної дії «Реакому» і янтарної кислоти в проростках спостерігалось додаткове підвищення активності пероксидази при незначному зниженні активності каталази. Обговорюються механізми підвищення стійкості рослин до абіотичних стресорів під впливом мікроелементів і янтарної кислоти у зв'язку з функціонуванням антиоксидантної системи.

Ключові слова: *Rapiscum tiliaceum L.*, метали-мікроелементи, мікродобриво «Реаком», янтарна кислота, теплостійкість, супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза