

УДК 57.04

МЕХАНИЗМ ВОЗДЕЙСТВИЯ АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ НА РИЗОГЕНЕЗ ЧЕРЕНКОВ

Пасько О.А.¹, Леонов В.П.²

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Институт природных ресурсов, Томск, Россия.*

² *Томский государственный университет, Томск, Россия, e-mail: oap@sibmail.com*

Изучено влияние воды с разными физико-химическими показателями на развитие корневой системы модельных биообъектов – черенков фасоли. Обнаружены отрицательные корреляции между процессами ризогенеза и развитием новых листьев. Установлена тесная взаимосвязь биологической эффективности воды с ее газовым составом. Выявлены режимы, вызывающие стимуляцию или ингибирование закладки корней и их роста. Так, гипоксия в небольших дозах стимулирует закладку корней. Ее продление приводит к недоразвитию корней, своевременная подача кислорода – к росту. Сочетание этих процессов (закладка максимального числа корней и их интенсивного линейного роста) путем смены содержания кислорода позволяет просто, эффективно надежно управлять процессом корнеобразования.

Ключевые слова: корнеобразование, механизм, активированная вода.

THE MECHANISM OF ACTIVATED WATER ON RHIZOGENESIS CUTTINGS

Pasko O.A.¹, Leonov V.P.²

¹ *National Research Tomsk Polytechnic University, Institute of Natural Resources, Tomsk, Russia.*

² *Tomsk State University, Tomsk, Russia, e-mail: oap@sibmail.com*

The effect of water with different physico-chemical characteristics on root development of model biological objects. Identified modes, causing stimulation or inhibition of bookmarks roots and their growth. Gain control rhizogenesis.

Key words: root formation, a mechanism activated water.

Одним из важнейших способов вегетативного размножения культурных растений является черенкование. Поскольку не все из них способны образовывать хорошо развитую корневую систему, ведется активный поиск стимуляторов ризогенеза. В практике растениеводства для ускорения образования корней у зеленых черенков садовых и декоративных растений применяют различные химические стимуляторы роста, например гетероауксин, альфа-нафтилуксусную кислоту, индолилмасляную кислоту и другие.

Хорошо зарекомендовала себя обработка черенков активированной водой. Ее первые испытания были начаты в Казахском НИИ плодоводства и виноградарства И.Д. Зелепухиным [1]. С его подачи под термином «активированная вода» в настоящее время понимают воду, обработанную различными физическими факторами (нагревание до 99 °С и последующее

охлаждение, омагничивание, электрохимическая, ультразвуковая, ультрафиолетовая обработка и др.).

Свежеприготовленная активированная вода обладает биологически активными свойствами. В частности, дегазированная вода при укоренении зеленых черенков (смородина, айва, роза, яблоня, виноград), срезанных во время роста, не уступает по эффективности действия гетероауксину. Характерна пролонгированная стимуляция: за три года укореняемость черенков чайно-гибридных сортов роз Баккара, Глория Дей и Куин Элизабет повысилась на 12% и составила 88%. Дегазированная вода стимулировала приживаемость клоновых подвоев яблони в среднем на 18% и подвоев груши на 27%.

В последние годы было обнаружено стимулирующее действие и других модификаций активированной воды. Они получили широкое распространение на практике благодаря высокой эффективности, простоте получения и экологической чистоте [2–4]. Однако, как правило, исследования проводили с одной из них, на разных по происхождению и физико-химическим характеристикам исходных образцах воды. Это не позволило судить об их сравнительной биологической активности и выяснить механизм воздействия.

Целью данной работы являлось изучение биологической активности различных модификаций активированной воды, полученных в строго контролируемых условиях на основе общего исходного образца, их сравнение, выявление и усиление действующего на растения фактора. Для ее достижения были проведены два опыта. В первом опыте выявляли закономерности, связывающие водно-газо-солевой состав воды с биологической реакцией тест объектов и описывали их математически. На основании полученных уравнений во втором опыте рассчитывали, какими (количественно) должны быть биологические ответы при конкретных параметрах воды. Расчетные и реальные результаты сравнивали, и на основании этого делали вывод о правильности рабочей гипотезы.

Опыт 1. Изучение влияния водно-газо-солевого состава воды на биологическую реакцию тест объектов

Исследования проводили на черенках фасоли, поскольку закономерности их корнеобразования хорошо воспроизводятся на любых других объектах (зеленые, одревесневшие, полудревесневшие черенки разных видов растений) [5]. Это классический подход, который позволяет точно характеризовать стимулирующий или ингибирующий эффект того или иного фактора воздействия.

Тест-объектом являлись черенки фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) сорта Ромазанская местная. Фасоль выращивали в песке при температуре 22 °С в условиях достаточного освещения. В десятидневном возрасте, когда высота проростков достигала 11–13

см, их надземные части срезали и помещали нижними концами в исследуемую жидкость. Воду наливали в стеклянные стаканы по 50 мл в каждый. Через шесть часов черенки вынимали и помещали в дистиллированную воду. Через семь суток у растений определяли интенсивность корнеобразования: число придаточных корней, их суммарную длину, длину окорененного участка побега. Кроме того, фиксировали число новых листьев и общую массу листьев.

Схема опыта включала в себя: контроль (водопроводная вода, уравновешенная с воздухом по содержанию газов путем выдерживания в открытом сосуде в течение трех суток); электрохимически активированная вода; термически дегазированная вода; вода, обработанная ультразвуком, ультрафиолетом, магнитным полем.

Водородный показатель и редокс-потенциал (Eh) измеряли на приборе рН-метр-милливольтметр рН-673. Содержание растворенного кислорода определяли по методу Винклера, диоксида углерода методом объемного анализа [6]. Омагничивание производили путем воздействия на струю воды, имеющей диаметр 1 см и скорость потока 3–4 м/с, магнитным полем 0,2 Тл. Электролиз осуществляли в диафрагменном электролизере с графитовым анодом и титановым катодом. На электроды подавали постоянное напряжение 200 В в течение 15 минут [7]. Термическую дегазацию воды осуществляли путем ее нагревания до 100 °С в открытом сосуде с последующим быстрым охлаждением без доступа воздуха до 20 °С.

Ультразвуковую обработку воды проводили с помощью медицинского электроакустического преобразователя с частотой 1000 кГц в течение 15 минут; облучение воды ультрафиолетом – с помощью лампы Q-139 (производство венгерской фирмы Medicor) (15 минут на расстоянии 15 см). Время обработки воды во всех вариантах опыта определяли по наступлению стабилизации основных контролируемых параметров.

Производили сравнение физиологической реакции на биообъектах, вызванной активированной водой и стимулятором корнеобразования – гормоном ауксином (20–80 мг/л).

Условные обозначения, используемые нами в дальнейшем, означают: МП-вода – вода, обработанная магнитным полем; УФ-вода – вода, обработанная ультрафиолетом; УЗ-вода – вода, обработанная ультразвуком; НК – число корней, LK – длина корней, LS – длина окорененного участка стебля, NL – число новых листьев, ML – масса листьев, C(O₂) – содержание кислорода, C(CO₂) – содержание диоксида углерода.

Результаты и обсуждение

Сравнительный анализ физико-химических параметров различных модификаций активированной воды показал, что наиболее глубокие изменения происходили в процессе ЭХА. Так рН растворов варьировался в пределах от 3.1 до 10.4, Eh – от +420 до –860 мВ. В

соответствии с величиной рН в католите практически полностью исчезал свободный диоксид углерода, в анолите содержание CO_2 почти вдвое превышало исходное.

Уменьшение концентрации свободной углекислоты при термической дегазации или катодной электрообработке приводило к распаду гидрокарбонатных ионов с выделением карбонатных ионов и свободной углекислоты. После термической, магнитной, ультразвуковой и ультрафиолетовой обработки воды ее рН смещался в щелочную сторону, редокс-потенциал и растворимость газов O_2 и $\text{C}(\text{CO}_2)$ также уменьшались (табл. 1). Изменения физико-химических показателей воды при других способах обработки были недостоверными.

Дисперсионный анализ данных изменения физико-химических параметров различных модификаций активированной воды в имеющемся диапазоне значений позволил установить наличие достоверных различий между всеми вариантами, за исключением пар «омагниченная – ЭХАВ» по содержанию O_2 , «омагниченная – дегазированная» – по содержанию CO_2 , «омагниченная – контроль» и «омагниченная – дегазированная» – по Eh. Достоверные различия по рН в большинстве вариантов отсутствовали.

Максимальное влияние на формирование различий между исследуемыми модификациями активированной воды оказывало содержание кислорода ($R^2 = 58\%$). Более слабым являлось влияние содержания CO_2 ($R^2 = 28\%$). Еще менее выражено влияние Eh и рН ($R^2 = 15\%$ и 11% соответственно).

Максимальное влияние на ризогенез по совокупности изученных параметров оказали католит и УЗ-вода, стимулировавшие образование корневых зачатков и их рост (табл. 1). Оно оказалось изоэффективным воздействию ИУК в концентрации 20–40 мг/л.

Таблица 1 – Сравнительная эффективность различных модификаций активированной воды и ИУК (эталон) на рост и развитие черенков фасоли (% к контролю)

Модификация воды	Y1	Y2	Y3	ML	NL
Контроль	100	100	100	100	100
Католит	891	214	180	158	40
Анолит	124	139	38	44	40
УЗ-вода*	143	98	91	96	180
УФ-вода	259	157	105	126	100
ДГ-вода	100	131	91	134	80
МП-вода	100	127	100	130	80
ИУК-20%	700	208	70	140	8
ИУК-40%	880	214	70	103	-
ИУК-60%	-	512	51	84	-

ИУК-80%	-	571	44	76	-
---------	---	-----	----	----	---

* УЗ-вода – вода, обработанная ультразвуком; МП-вода – вода, обработанная магнитным полем; УФ-вода – вода, обработанная ультрафиолетом; ДГ-вода – дегазированная вода; Y1 – длина окорененного участка стебля, мм; Y2 – число корней, шт; Y3 – длина корней, мм; ML – масса листьев, г; NL – число новых листьев, шт.

Укоренение черенков с помощью дегазированной и омагниченной воды вызвало близкую по интенсивности физиологическую реакцию – увеличение числа придаточных корней и, соответственно, их суммарной длины примерно на 30% по отношению к контролю. Анолит также способствовал усилению ризогенеза, но образующиеся корни отличались замедленным ростом. Вместе с тем усиленное формирование корневой системы в большинстве случаев сопровождалось торможением роста и развития надземной части. Это проявлялось в снижении общей массы листьев, в частности за счет уменьшения числа вновь образованных листьев.

Корреляционный анализ полученных результатов выявил сильную зависимость между длиной корней и их числом: Y2 – LK ($r = + 0.619$), а также числом корней и длиной окорененного участка стебля: Y2 – Y1 (+ 0.779). Средней по силе оказалась зависимость между числом корней и массой листьев: Y2 – ML (– 0.461), между числом корней и числом вновь образованных листьев: Y2 – NL (– 0.397), между числом корней и концентрацией кислорода и диоксида углерода в воде, а также ее редокс-потенциалом: Y2 – C(O₂)(+0.442), Y2 – C(CO₂) (+0.586), Y2 – Eh – (+0.577).

Рост и развитие листьев также определялись газовым составом активированной воды. Коэффициент корреляции составил: между массой листьев и концентрацией диоксида углерода: ML – C(CO₂) – (0.472), между массой листьев и концентрацией кислорода: ML – C(CO₂) – (+0.399); между массой листьев и редокс-потенциалом воды: ML – Eh (– 0.832).

Коэффициент детерминации, отражающий влияние процесса активации воды на изучаемые параметры составил (%): для Y1 – 11,5; Y2 – 14,0; Eh – 15,0; C(CO₂) – 28,1; NL – 35,3; Y3 – 43,5. Средней по силе оказалось влияние обработки на C(O₂), сильным – на ML.

Рассчитанные коэффициенты вариации выявили слабую вариабельность у ML (4,1), среднюю у C(O₂) – 12,2; LS – 28,1; значительную у Y2 – 51,8, Y3 – 52,1; C(CO₂) – 59,1; NL – 66,7; Eh – 94,3.

Математические уравнения, описывающие взаимосвязь изученных параметров, выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned}
 Y2 &= 6,38 C(O_2); Y3 = 3,95 C(O_2)/C(CO_2) = 56 C(O_2)/C(CO_2) - 0,119 Eh; \\
 Y1 &= 3 pH - 112 C(O_2) + 399 C(CO_2) + 8,8 C(O_2)/C(CO_2); \\
 NL &= 0,10 C(O_2)/C(CO_2) = 0,134 C(O_2)/C(CO_2) - 0,0009 Eh; ML = 0,615 C(O_2).
 \end{aligned}$$

Полученные результаты указывают на тесную взаимосвязь биологического эффекта воды, обработанной различными физическими воздействиями, с ее газовым составом. В имеющемся интервале концентраций кислорода (пониженным по сравнению с контрольным) наблюдаются отрицательные корреляции между процессами ризогенеза и ростом имеющихся и развитием новых листьев в данных условиях проведения эксперимента.

Это свидетельствует о нарушении естественных корне-листных функциональных зависимостей, обуславливающих целостность автотрофного растения. Так, сразу после удаления корней происходило резкое ослабление или приостановка роста листьев, несмотря на имеющийся запас питательных веществ в семядолях. Рост надземной части возобновлялся лишь при отрастании новых (придаточных) корней. Обработка черенков дегазированной водой способствовала возрастанию длины окорененного участка стебля, но препятствовала росту и развитию корневых зачатков. С другой стороны, при равновесном содержании кислорода в воде образовывались длинные корни, но только у основания стебля.

Таким образом, установлено, что режимы обработки воды и черенков, способствующие закладке корневых зачатков и их развитию, существенно отличаются друг от друга. Это позволило перейти ко второй части эксперимента, а именно – поиску условий для максимального ризогенеза.

Опыт 2. Контрольный эксперимент по стимуляции максимального ризогенеза изменением газового состава активированной воды.

Мы предположили, что добиться максимального ризогенеза можно за счет увеличения как длины окорененного участка, так и последующего максимального роста и развития заложившихся корневых зачатков. Для этого, на наш взгляд, была необходима двухэтапная обработка черенков водой с разным содержанием кислорода. Задачей эксперимента являлось установление не только оптимальной концентрации кислорода, но и режимов обработки тест-объектов на каждом этапе, способствующих их экстремальному физиологическому ответу.

Для проверки гипотезы был проведен эксперимент с 617 растениями.

Схема эксперимента (табл. 2) включала в себя определенные сочетания времени обработки черенков на первом (X1) и втором (X2) этапах и содержания кислорода в используемой воде (X3). Заданного содержания кислорода достигали путем нагревания воды в открытом сосуде до соответствующей расчетной температуры и последующего охлаждения в закрытом сосуде до 22 °С.

При подготовке эксперимента был использован план второго порядка. Всего было проведено 80 экспериментов по 10–15 повторов в каждой точке плана.

Физиологический ответ растений оценивали по следующим параметрам:

Y1 – длина окорененного участка, мм;

Y2 – число корней на побеге, шт;

Y3 – суммарная длина корней, мм;

Y4 – плотность закладки корней, шт./мм;

Y5 – потенциал корнеобразования (отношение числа образовавшихся корней к максимально наблюдавшемуся числу зачатков, равному 120 шт.);

Y6 – средняя длина корешка, мм;

Y7 – доля неукорененных побегов в пробе, %.

Статистическую обработку результатов наблюдений проводили в среде пакетов DATASCOPE и SAS.

Таблица 2 – Режимы обработки черенков фасоли, соответствующие экстремальным значениям ризогенеза

Показатель	Значение	Длительность этапа, мин.	Длительность II этапа, мин.	Содержание кислорода в воде, мг/л
Y1min	0	30	30	5
Y1max	66	90	50	10
Y2min	0	90	50	9
Y2max	41	130	170	9
Y3min	0	7	30	8
Y3max	56	5	230	10
Y4min	0	30	130	6
Y4max	1	10	170	8
Y5min	0	90	50	10
Y5max	34	130	170	9
Y6min	0.5	70	30	5
Y6max	3.6	230	230	5
Y7 min	0	30	90	10
Y7max	20	230	230	10

Результаты второй серии экспериментов опыта подтвердили правомерность предположения о необходимости двухэтапной обработки черенков активированной водой. Оказалось, что изучаемые морфометрические параметры достигали максимума при увеличении длительности каждого из этапов (увеличение длительности взаимодействия активированной воды и растительного объекта способствовало усилению ризогенеза). Минимальные значения

морфометрических параметров были зафиксированы при снижении длительности этапов (рис. 1, 2).

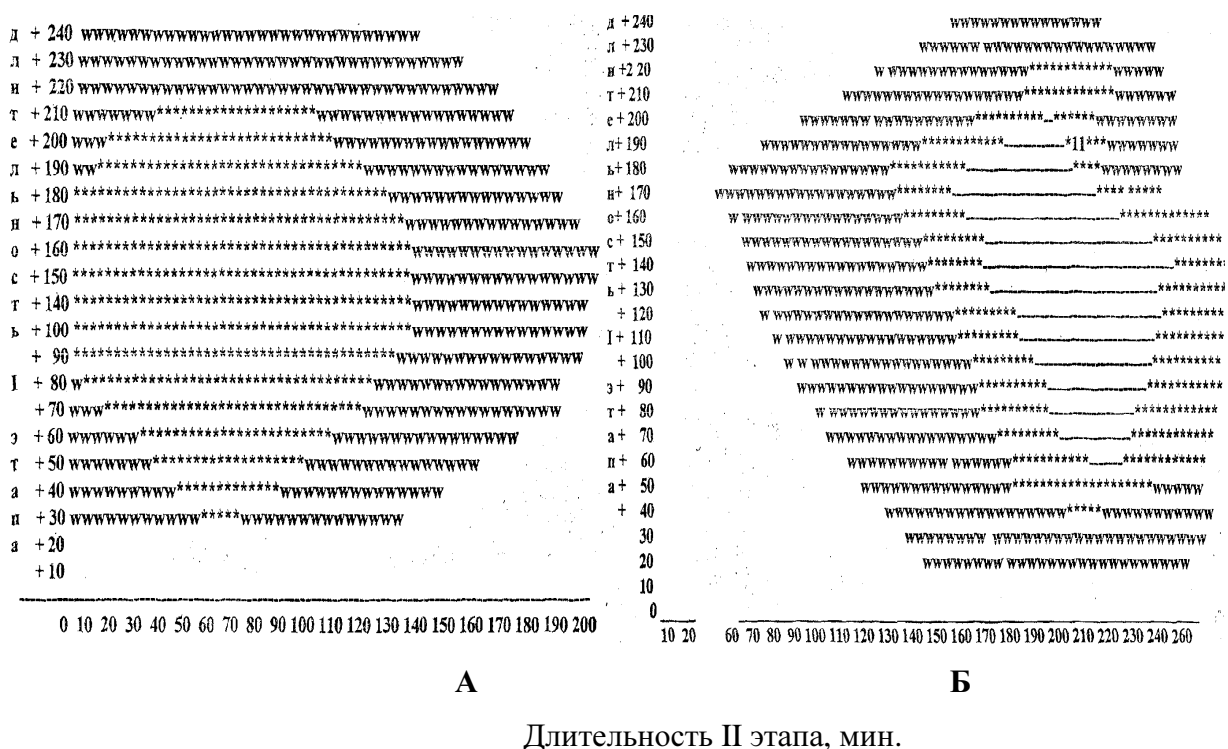


Рис. 1. Влияние содержания кислорода и длительности первого (I) и второго (II) этапов обработки черенков фасоли активированной водой на число вновь образованных корней. Содержание кислорода в воде составляет 10 мг/л (А); 5 мг/л (Б). Условные обозначения: www – 0–10 корней на побеге; **** – 11–25 корней на побеге; ----- 25–40 корней на побеге

Некоторые параметры (доля неукорененных побегов Y7, длина одного корешка Y6) зависели только от времени обработки черенков водой на обоих этапах при неизменном содержании кислорода в воде. Остальные параметры характеризовались высокой чувствительностью к кислороду.

Так, число корней на побеге Y2 и потенциал корнеобразования Y5 были максимальными при содержании кислорода в воде, близком к равновесному (при комнатной температуре), и минимальными при ее предварительном охлаждении до нуля градусов. Суммарная длина корней Y3 была максимальной при использовании талой воды, плотность закладки корней Y4 – при использовании дегазированной воды. Распределение корней по высоте черенка было неоднородным – четко прослеживались два максимума в области 0–(6–18) мм и 0–66 мм от базипетального конца.

Средняя длина одного корня достигала 25 мм, более длинных корней (25–50 мм) было в два раза меньше. Ветвление придаточных корней происходило у корней с размерами 6–35 мм, у более длинных и более коротких корней ветвления не было.

1. Зелепухин И.Д. Агробиологические особенности применения водных систем в плодоводстве : автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук. – Мичуринск, 1994. – 42 с.
2. Пасько О.А., Семенов А.В., Смирнов Г.В. Активированные жидкости, ЭМП и фликкер-шум. Их применение в медицине и сельском хозяйстве. – Томск : ТУСУР, 2009. – 410 с.
3. Пасько О.А. Фитодизайн в современных условиях // Мат. междунар. науч.-практ. конф. – Белгород : Изд-во БелГУ, 2010. – С. 146–147.
4. Пасько О.А. Рост и развитие растений, стимулированных электрохимически активированной водой // Вестник БГСХА. – 2010. – № 3 (20). – С. 40–45.
5. Турецкая Р.Х. Физиология корнеобразования у черенков и стимуляторы роста // Изд-во АН СССР : М., 1961. – 280 с.
6. Унифицированные методы анализа природных вод / под общ. ред. Ю.Ю. Лурье. – М. : Химия, 1973. – 376 с.
7. Пасько О.А. Физико-химические изменения в водопроводной воде при ее обработке различными способами // Вода: химия и экология. – 2010. – № 7. – С. 40-45.

Рецензенты:

Костеша Н.Я., д.б.н., профессор Томского сельскохозяйственного института-филиала Новосибирского государственного аграрного университета, г. Томск.

Трофимов И.А., д.г.н., заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией геоботаники ГНУ ВИК Россельхозакадемии, Московская обл. г. Лобня.

Работа получена 20.10.2011