

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ

УДК: 635.925:635.032/.034

ВЛИЯНИЕ ИОНИТНОГО СУБСТРАТА ЦИОН НА АДАПТАЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ *HYDRANGEA* В УСЛОВИЯХ ГИДРОПОНИКИЛилия Рафисовна Ахметова¹, Ольга Ивановна Молканова¹,
Агамагомед Курбанович Раджабов²¹Главный ботанический сад имени Н. В. Цицина
127276, Россия, г. Москва, ул. Ботаническая, 4
E-mail: molkanova@mail.ru²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: plod@rgau-msha.ru

Изучены адаптационные особенности растений-регенерантов *Hydrangea* L. (гортензии) к условиям *ex vitro*. Проведено сравнение морфометрических показателей адаптируемых сортов *H. arborescens* L., *H. paniculata* Siebold, *H. macrophylla* (Thunb.) Ser. в условиях гидропонной установки с применением ионитного субстрата Цион. Показано, что доля жизнеспособных растений составила 87%. Их высота и длина корней были сортоспецифичны. Наибольшее увеличение морфометрических показателей надземной части отмечали у *H. paniculata*, 1,4 раза сравнительно с контролем. Положительное влияние на развитие корневой системы было установлено для большинства исследуемых объектов. Для сортов *H. macrophylla* и *H. paniculata* отмечено увеличение корней в 1,4 и 1,6 раза, соответственно.

Использование субстрата агроперлит + Цион для гидропонной установки при адаптации микрорастений к условиям *ex vitro* позволяет получать посадочный материал представителей рода *Hydrangea* с развитой надземной частью и корневой системой.

Ключевые слова: *Hydrangea* L., виды, сорта, адаптация к условиям *ex vitro*, гидропоника, Цион

Введение

Гидропоника – это современный метод выращивания растений, который модернизирует и оптимизирует процессы сельского хозяйства и агрономии. Технология позволяет контролировать условия роста и развития растений, что оказывает благоприятное влияние на их жизнедеятельность (Aires, 2018). Одним из важных аспектов успешного применения гидропонных установок является выбор оптимального субстрата и его компонентов, что непосредственно влияет на адаптационную способность растений, выращенных в условиях *in vitro* и их дальнейшее развитие в условиях *ex vitro*.

С каждым годом растёт потребность в производстве отечественного посадочного материала *Hydrangea* L. (гортензии) – одной из ведущих культур в современном декоративном садоводстве (Ахметова и др., 2024). Применение искусственных субстратов при выращивании растений очень актуально в современном сельском хозяйстве. Малый выход адаптируемых растений представителей рода *Hydrangea* L. после культивирования в условиях *in vitro*, существенно снижает эффективность клонального микроразмножения, поэтому актуальным является совершенствование этапов адаптации при использовании гидропонной установки (Вечернина и др., 2008; Эрст и др., 2012).

Этот перспективный метод растениеводства позволяет максимально эффективно сбалансировать и регулировать питательный режим растений, получать стабильно высокие урожаи, в том числе на обедненных и деградированных почвах.

Ионитопоника – это одно из ответвлений гидропоники, которое возникло не так давно. Суть метода заключается в том, что растения культивируют не в грунте, а в субстрате с использованием ионообменных материалов. Ионитные субстраты представлены в виде гранулированных или волокнистых полимерных смол, окрашенные в тёмно-жёлтые или коричневые тона с размером гранул от 1 до 3 мм. Эти субстраты не растворяются в воде, но обладают высокой способностью впитывать её. Так как они обладают электрическим зарядом, то способны удерживать противоположно заряженные частицы 24 питательных элементов, которые могут быть заменены на другие ионы, присутствующие в окружающей среде, включая продукты метаболизма корневой системы (Смирнова и др., 2021). Способность к ионному обмену впервые была обнаружена у минералов группы цеолитов. Цеолиты представляют собой алюмосиликаты, а также породы осадочного и вулканосадочного происхождения. Они обладают способностью к избирательному выделению и впитыванию различных веществ (воды, обменных катионов) (Смирнова и др., 2021).

Одним из самых популярных ионитных субстратов на рынке в настоящий момент является Цион, и данные о его влиянии на растения рода *Hydrangea*, адаптируемые к условиям *ex vitro*, остаются весьма ограничены. Поэтому целью исследований было усовершенствование этапа адаптации растений-регенерантов *Hydrangea* с использованием ионитного субстрата Цион.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в лаборатории биотехнологии растений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН) и в адаптационном помещении лаборатории «Биотех» в 2024–2025 гг.

В качестве объектов исследований выбрана многолетняя древесная декоративная культура – Гортензия (*Hydrangea* L.), семейство Гортензиевые (*Hydrangeaceae*) (табл. 1). Исходный материал взят из генетического банка *in vitro* ГБС РАН.

Таблица 1

Описание объектов исследования

Table 1

Description of the research objects

Вид / Species	Сорт / Cultivar	Оригинатор / Author	Год селекции / Year of breeding
<i>H. macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	Peppermint	Boot & Co: R. Irie	2005/2008
	Forever & Ever Red	Bailey Nurseries	2005
<i>H. arborescens</i> L.	Bella Anna	Michael A. Dirr	2008
	Annabelle	Harriet Kirkpatrick,	1910
<i>H. paniculata</i> Siebold	Pink Diamond	Alex Schoemaker	1986
	Magical Candle	Kees Jan Kraan, Boot & Co	2006

В условиях лаборатории растения-регенеранты культивировали при температуре воздуха 21–23°C, фотопериоде 16/8 часов и влажности 50%.

В адаптационной комнате с гидропонной установкой растения культивировали при температуре 21–23°C. Температура раствора составляла 20°C, влажность воздуха – 70%, pH раствора – 5,8, электропроводность (ЕС) – 0,9 мС/см, фотопериод – 16/8 часов.

Для гидропонного культивирования использовали систему AirCube Ebb & Flow, с принципом периодического затопления. Ее структурные элементы включали: стеллажи, расположенные в 4 яруса, с расстоянием между каждым в 35 см; светодиодные лампы LED bar 42W bloom (мощность 42 Вт, спектр 3000K/2100K + красные диоды 660 нм); поддоны (950×540 см) с тремя кассетами (52x31x5 см), в каждой из которых 40 ячеек с объём 0,095 л (Ахметова и др., 2024).

Питательный раствор готовили на основе комплексных удобрений фирмы «Буйские удобрения» (Россия). Состав маточных смесей (А, Б), представлен в табл. 2 на объём в 5 л. Для приготовления необходимого раствора 0,5 л маточной смеси растворяли в ёмкости с водой, объём 100 л. Частота подачи раствора: 2 раза в сутки по 15 мин затопления. Уровень кислотности (pH) питательного раствора составил 5,8–6,2. Через каждые 7 дней раствор обновляли. Через 15 дней фиксировали высоту растений-регенерантов, через 30 дней вычисляли процент жизнеспособных растений, измеряли высоту и длину корней. Повторность опыта двухкратная, по 20 растений в каждом варианте (Ахметова и др., 2024).

Таблица 2

Состав маточных растворов для гидропонной установки

Table 2

The composition of masterbatch solutions for a hydroponic installation

Вещество / Substance	Навеска (г/5 л) / Weight, (g/5 L)
Раствор А / Solution A	
K ₂ SO ₄	125
KH ₂ PO ₄	250
NH ₄ NO ₃	75
KNO ₃	125
Mg(NO ₃) ₂	250
MgSO ₄	250
Раствор В / Solution B	
Ca(NO ₃) ₂	300
Аквამикс / Aquamix	20
Железо 13% / Iron 13%	12
Железо 6% / Iron 13%	10
Хелат марганца / Manganese Chelate	8
K ₂ O	1,5

Растения-регенеранты выращивали в субстрате агроперлит + Цион в соотношении (3:1). В качестве контроля использовали агроперлит (фракция 1,25 мм) 100%, который, согласно исследованиям, является наиболее эффективным при адаптации гортензии в условиях гидропонной установки (Ахметова и др., 2024).

Результаты обрабатывали статистически с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel 2017 и программы PAST 4.0. Достоверность различий между вариантами рассчитывали по двухфакторному дисперсионному анализу согласно методике Б.А. Доспехова (Доспехов, 1985), А.В. Исачкина и В.А. Крючковой (Исачкин, Крючкова, 2019). Числовые данные в тексте представлены в виде средних значений и их ошибки. На графиках и в описаниях к рисункам указаны средние значения, и наименьшая существенная разность между средними (НСР₀₅/LSD₀₅).

Результаты и обсуждение

Адаптация микрорастений к условиям *ex vitro* является заключительным и одним из сложных этапов клонального микроразмножения, на котором возникают трудности из-за смены условий культивирования. Ассимилирующий аппарат

адаптируемых микрорастений переходит от 100%-й влажности к 80%-й и ниже. У растений наблюдается снижение фотосинтетической активности, что объясняется анатомическими и физиологическими особенностями при культивировании в условиях *in vitro*. Выход жизнеспособных растений зависит от множества абиотических факторов (Красинская и др., 2010)

Исследован выход жизнеспособных растений в условиях гидропоники. Без применения Циона средний выход жизнеспособных растений составил 78%. Наибольшее количество адаптированных растений в условиях гидропоники среди исследуемых видов наблюдали у *H. paniculata* (95%), наименьшее – у *H. macrophylla* (58,5%). При изучении сортов, максимальный показатель жизнеспособности зафиксирован у *H. arborescens* cv. Annabelle (100%) и *H. paniculata* cv. Pink Diamond (100%). Наименьший результат по количеству выживших растений наблюдали у *H. macrophylla* cv. Peppermint (рис. 1).

Ионитные субстраты известны своей способностью к повышению плодородия и к увеличению способности растений к адаптации и лучшей их приживаемости (Tan et al., 2018). Так, в работах В.С. Солдатова показано положительно влияние субстрата Цион на рост салата Афицион (Солдатов и др., 2021). В подобных экспериментах, выполненных Ю.Н. Кульчиным с соавторами на базилике, продемонстрировано увеличение морфометрических параметров растения и его надземной части в 11 раз (Кульчин и др., 2025).

Проведенные нами исследования адаптационных особенностей представителей рода *Hydrangea* L. в условиях гидропоники с применением ионитного субстрата Цион показали, что при его добавлении в агроперлит в соотношении (3:1) средний процент выживаемости растений-регенерантов составил 87%, что на 10% больше, чем при адаптации без Циона, что является статистически достоверным (рис. 1). Наиболее высокий выход жизнеспособных растений зафиксировали у сортов вида *H. arborescens* – 90%, что на 10% больше, сравнительно с контролем. У сортов *H. paniculata* средний выход жизнеспособных растений-регенерантов выше при отсутствии Циона в субстрате (95%), чем при его добавлении (90%).

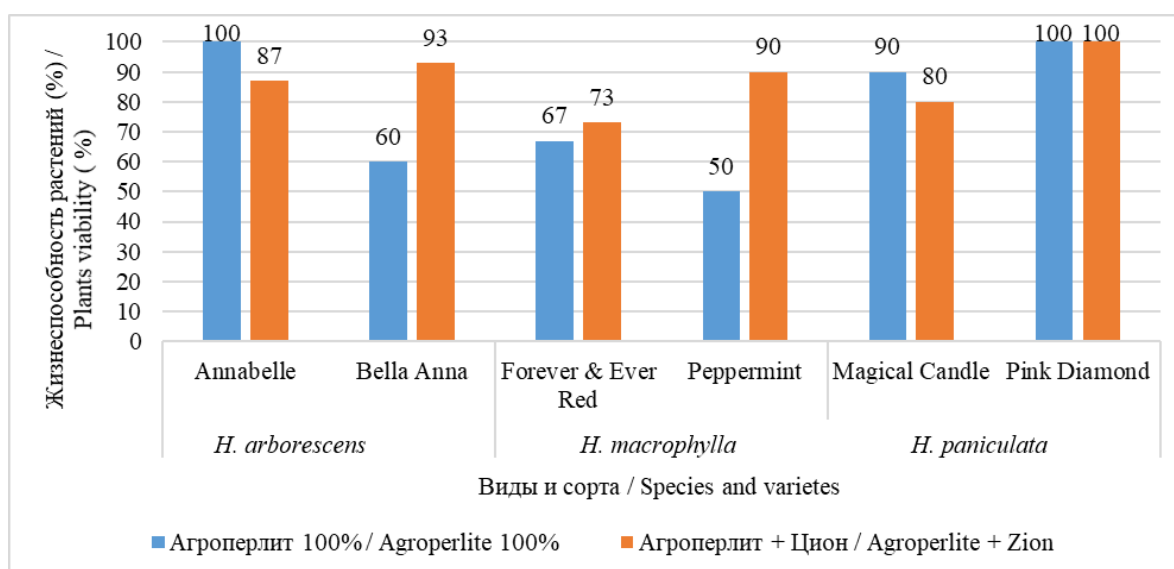


Рис. 1 Жизнеспособность растений-регенерантов рода *Hydrangea* L. при выращивании в гидропонике при применении различных субстратов (НСР₀₅ = 1, 4)

Fig.1 Viability of *Hydrangea* L. regenerating plants with using different substrates (LSD₀₅ = 1, 4)

Необходимо отметить, что при адаптации в условиях гидропоники среди всех исследованных объектов наибольшей высоты растения-регенеранты достигли при

культивировании с субстратом агроперлит + Цион в соотношении (3:1) ($3,30 \pm 0,30$ см), сравнительно с контролем ($2,60 \pm 0,21$ см).

На гистограмме приведены данные по высоте растений-регенерантов, адаптированных в условиях гидропонной установки на двух вариантах субстрата (рис. 2). Наибольшую высоту среди изучаемых объектов наблюдали у *H. arborescens* cv. Annabelle ($5,90 \pm 0,35$) (рис. 2), наименьшую – *H. macrophylla* cv. Forever & Ever Red ($1,70 \pm 0,32$ см) и cv. Peppermint ($1,50 \pm 0,40$ см) при культивировании на агроперлите.

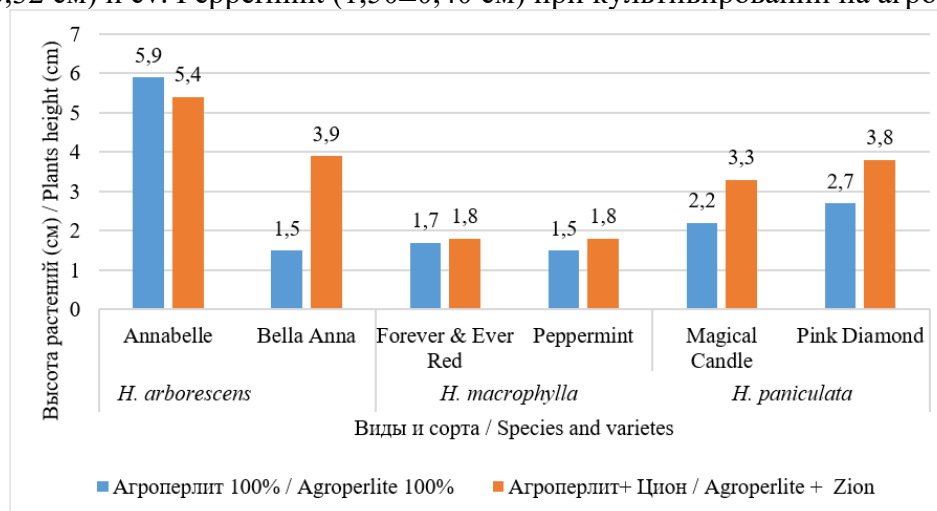


Рис. 2 Высота растений-регенерантов при адаптации в условиях гидропоники на различных вариантах субстрата, см (НСР₀₅ = 1,08)

Fig. 2 The height of regenerating plants after adaptation on various substrate, under hydroponic conditions, cm (LSD₀₅ = 1,08)

Достоверных статистических различий по высоте растений между вариантами опытов у сортов вида *H. macrophylla* и сорта Annabelle (*H. arborescens*) не выявлено. При этом у сортов вида *H. paniculata* и у *H. arborescens* cv. Bella Anna, культивируемых на субстрате агроперлит+Цион, высота растений-регенерантов достоверно превышает показатели растений-регенерантов, культивируемых без применения субстрата Цион. Наибольшие показатели высоты при культивировании с добавлением субстрата Циона отмечали у сортов *H. arborescens* ($4,65 \pm 0,40$ см), наименьшие – у растений-регенерантов *H. macrophylla* ($1,80 \pm 0,10$ см), что коррелирует с биологическими особенностями видов.

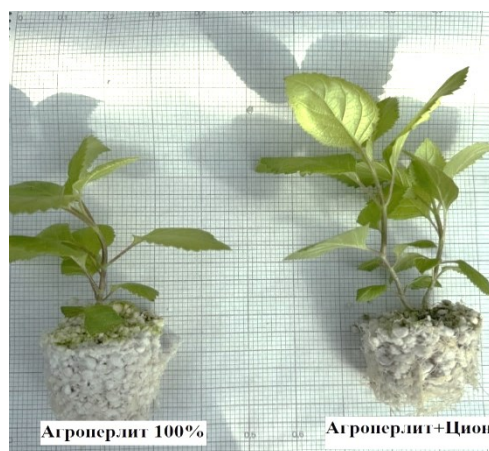


Рис. 3 Растения-регенеранты *H. arborescens* сорта Annabelle после адаптации на различных вариантах субстрата

Fig. 3 Regenerant plants of the *H. arborescens* cv. Annabelle after adaptation on various substrate variants

При проведении исследований также была учтена длина корней растений-регенерантов представителей рода *Hydrangea* при адаптации в различных субстратах (рис. 4).

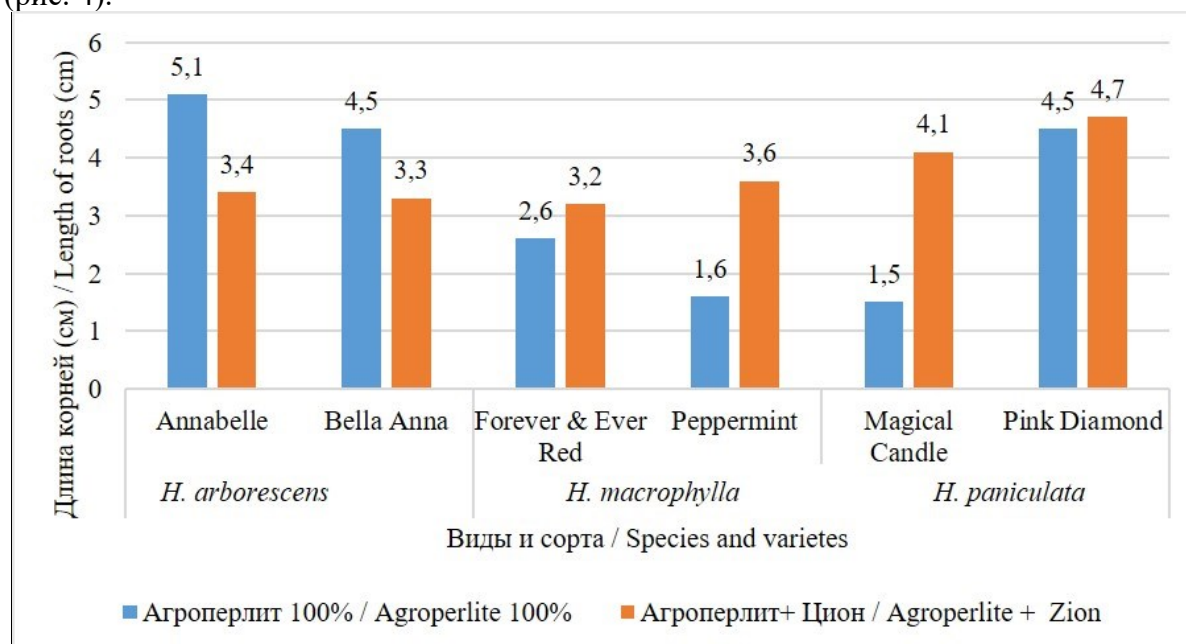


Рис. 4 Длина корней растений-регенерантов при адаптации в условиях гидропоники на различных вариантах субстрата, см (НСР₀₅ = 0,94)

Fig. 4 The length of regenerating plants' roots after adaptation to hydroponic conditions on various substrate, (LSD₀₅ = 0,94)

Наибольшую длину корней растений-регенерантов наблюдали при выращивании в агроперлите у сортов вида *H. arborescens* – $4,8 \pm 0,21$ см, наименьшую – у *H. macrophylla* так же при адаптации на агроперлите – $2,8 \pm 0,32$ см. Достоверность различий по длине корней между вариантами опыта была отмечена на всех исследуемых объектах, кроме *H. paniculata* cv. Pink Diamond и *H. macrophylla* cv. Forever & Ever Red. Для сортов вида *H. arborescens* наиболее оптимальным оказался субстрат, состоящий из 100% агроперлита, и наоборот: для сортов *H. paniculata* и *H. macrophylla* – субстрат, состоящий из агроперлита и Циона (3:1).

Выводы

Результаты наших исследований показали применимость гидропонного культивирования на этапе адаптации растений-регенерантов рода *Hydrangea* L. Жизнеспособность *H. arborescens* и *H. macrophylla* является максимальной при применении субстрата агроперлит + Цион, для *H. paniculata* – только в агроперлите. Высота растений-регенерантов и длина их корней являлись вариативными признаками. Применение в качестве субстрата смеси агроперлита и Циона (3:1) оказывало заметный эффект на рост у *H. paniculata*. Максимальное увеличение линейных размеров корней также отмечали для *H. paniculata*, адаптация которой является довольно затруднительной в условиях фитотрона.

Использование субстрата агроперлит + Цион для гидропонной установки при адаптации микрорастений к условиям *ex vitro* позволяет получать посадочный материал представителей рода *Hydrangea* L. с развитой надземной частью и корневой системой.

Благодарности / Acknowledgements

Работа по созданию генетического банка *in vitro* представителей рода *Hydrangea* L. выполнена в рамках госзадания ГБС РАН 122042700002-6.

Литература / References

Ахметова Л.Р., Молканова О.И., Воронкова Т.В., Кондратьева В.В., Олехнович Л.С., Раджабов А.К. Влияние досветки на биохимические и морфометрические показатели листьев растений-регенерантов сортов *Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser. // Земледелие. 2024. №8. С. 36–40. doi: 10.24412/0044-3913-2024-8-36-40

[Akhmetova L.R., Molkanova O.I., Voronkova T.V., Kondrateva V.V., Olehnovich L.S., Radjabov A.K. The effect of additional illumination on the biochemical and morphometric parameters of the leaves *Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser. regenerating plants. Agriculture. 2024. 8:36–40. doi: 10.24412/0044-3913-2024-8-36-40]

Ахметова Л.Р., Молканова О.И., Раджабов А.К. Адаптация к нестерильным условиям растений-регенерантов представителей рода *Hydrangea* L. с использованием гидропонной установки // Плодоводство и ягодоводство России. 2024. Т. 77. С. 49–59. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2024-77-49-59>

[Akhmetova L.R., Molkanova O.I., Radjabov A.K. Adaptation of *Hydrangea* L. regenerating plants to non-sterile conditions with using a hydroponic installation. Fruit and berry growing in Russia. 2024. 77:49–59. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2024-77-49-59>]

Вечернина Н.А., Таварткиладзе О.К., Бородулина И.Д., Эрст А.А. Адаптация растений-регенерантов с использованием гидропонии // Известия Алтайского государственного университета. 2008. №3. С. 7–10.

[Vechernina N.A., Tavartkiladze O.K., Borodulina I.D., Erst A.A. Using hydroponics of regenerating plants on adaptation stage // Proceedings of the Altai State University. 2008. 3:7–10]

Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям. Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. М.: Альянс, 2011. 352 с.

[Dospekhov B. A. Methodology of field experience: (with the basics of statistical processing of research results): textbook for students of higher agricultural educational institutions in agronomic specialties. 6th ed., ster., reprinted from 5th ed., 1985. M.: Alliance, 2011. 352 p.]

Исачкин А.В., Крючкова В.А. Основы научных исследований в садоводстве: Учебник для бакалавров и магистров по направлению «Садоводство». М.: Лань, 2019. 420 с.

[Isachkin A.V., Kryuchkova V.A. Fundamentals of scientific research in horticulture: Textbook for bachelors and masters in the field of Horticulture. 2019. M: Lan', 420 p.]

Красинская Т.А., Кухарчик Н.В., Кастрицкая М.С. Адаптационный процесс растений-регенерантов, выращенных в культуре *in vitro*, в условиях *ex vitro* и способы его улучшения // Плодоводство. 2010. №22(1). С. 309–320.

[Krasinskaya T.A., Krasinskaya N.V., Kastritskaya M.S. Adaptation process of plant regenerants after *in vitro* in *ex vitro* conditions and ways to improve it // Fruit Growing. 2010. 22(1):309–320]

Кульчин Ю.Н., Кожанов С.О., Холин А.С., Субботин Е.П., Субботина Н.И. Влияние почвенного состава на рост и развитие растений базилика // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2025. № 1(239). С. 5–18. doi: 10.31857/S0869769825010012

[Kulchin Yu.N., Kozhanov S.O., Kholin A.S., Subbotin E.P., Subbotina N.I. The influence of soil composition on the growth and development of basil plants // Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. 2025. 1(239): 5–18. doi: 10.31857/S0869769825010012]

Смирнова В.В., Ильина С.И., Сальникова Л.С. Применение ионитов в цветоводстве // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. №12-10(80). С. 116–123.

[Smirnova V.V., Ilina S.I., Salnikova L.S. The use of ionites in floriculture // Current scientific research in the modern world. 2021. 12-10(80): 116–123.]

Солдатов В.С., Езубец А.П., Ионова О.В., Косандрович Н.Ю. Выращивание салата листового на смесях цеолитного субстрата с бесплодными и питательными грунтами // Агрохимия. 2021. №2. С. 47–54. doi: 10.31857/S0002188121020113

[Soldatov V.S., Ezubets A.P., Ionova O.V., Kosandrovich N.U. Cultivation of lettuce on mixtures of zeolite substrate with infertile and nutritious soils // Agrochemistry. 2021. 2:47–54. doi: 10.31857/S0002188121020113]

Эрст А.А., Новикова Т.И., Каракулов А.В., Зайцева Ю.Г. Адаптация регенерантов *Rhododendron hybridum* к условиям *ex vitro* // Региональные геосистемы. 2012. Вып.19(9). С. 44–48.

[Erst A.A., Novikova T.I., Karakulov A.V., Zaiceva U.G. Adaptation of *Rhododendron hybridum* regenerants to *ex vitro* conditions // Regional geosystems. 2012. 19(9):44–48].

Aires A. Hydroponic production systems: Impact on nutritional status and bioactive compounds of fresh vegetables // Vegetables – importance of quality vegetables to human health / Md. Asaduzzaman and T. Asao (Eds.). Villa Real, Quinta de Prados, UTAD: InTech. 2018. P. 55–66. doi: 10.5772/intechopen.73011

Tan Y.W., Unonis M.N.A., Khairuddin M.I., Shaharuddin S. Mechanism in using commercial high efficient zeolite base green feed slow release fertilizers // J. Agr. Chem. Environ. 2018. Vol. 7. P. 1–9. doi: 10.4236/jacen.2018.71001

Akhmetova L.R., Molkanova O.I., Radzhabov A.K. The effect of the ionite substrate Zion on the adaptive capacity of *Hydrangea* regenerating plants in hydroponic conditions // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2025. № 4 (177) P. 78-85.

The article presents the results of studying the adaptation of *Hydrangea* L. regenerant plants to *ex vitro* conditions. There is comparison of morphometric parameters of adaptable cultivars of *H. arborescens* L., *H. paniculata* Siebold, *H. macrophylla* (Thunb.) Ser. in the conditions of a hydroponic using the ionite substrate Zion. The proportion of viable plants was 87%. Their height and root length were variety-specific. The greatest raising in the morphometric parameters of the aboveground part was noted in *H. paniculata*, 1.4 times compared with the control. A positive effect on the development of the root system was found for the large part of the researched objects. For the varieties *H. macrophylla* and *H. paniculata*, an increase in roots was noted by 1.4 and 1.6 times, correspondingly.

The use of agropelrite with Zion substrate for a hydroponic plant, while adapting micro plants to *ex vitro* conditions, makes it possible to obtain planting material for representatives of *Hydrangea* with a developed aboveground part and root system.

Key words: *Hydrangea* L., species, adaptation to *ex vitro* conditions, hydroponic, Zion