УДК 631.53

А.М. Антонов, Ю.В. Александрова,
Н.О. Пастухова, А.И. Лютикова

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРНЕОБРАЗОВАНИЯ ЧЕРЕНКОВ В АЭРОПОННЫХ И ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМАХ

A.M. Antonov, Yu.V. Aleksandrova,
N.O. Pastukhova, A.I. Lyutikova

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF ROOT FORMATION OF CUTTINGS IN AEROPONIC AND HYDROPONIC SYSTEMS

Антонов А.М. – канд. с.-х. наук, доц., зав. каф. ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск. E-mail: anaximandr2@yandex.ru

Александрова Ю.В. – асп. каф. ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск. E-mail: hope203@yandex.ru

Пастухова Н.О. – канд. с.-х. наук, ст. преп. каф. ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск. E-mail: hope203@yandex.ru

Лютикова А.И. – магистрант каф. ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск. E-mail: hope203@yandex.ru

Antonov A.M. – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Landscape Architecture and Artificial Woods, Higher School of Natural Sciences and Technologies, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk. E-mail: anaximandr2@yandex.ru

Aleksandrova Yu.V. – Post-Graduate Student, Chair of Landscape Architecture and Artificial Woods, Higher School of Natural Sciences and Technologies, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk. E-mail: hope203@yandex.ru

Pastukhova N.O. – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Senior Lecturer, Chair of Landscape Architecture and Artificial Woods, Higher School of Natural Sciences and Technologies, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk. E-mail: hope203@yandex.ru

Lyutikova A.I. – Magistrate Student, Chair of Landscape Architecture and Artificial Woods, Higher School of Natural Sciences and Technologies, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk. E-mail: hope203@yandex.ru

Черенкование – самый быстрый способ размножения растений, при котором укорененные побеги за короткий период времени достигают размера взрослого растения. Самый простой и распространенный способ черенкования – укоренение черенков в воде или в грунте, однако существуют экологические технологии выращивания растений в гидропонных и аэропонных установках с применением искусственных/естественных питательных растворов. Цель исследований – провести сравнительный анализ эффективности процесса корнеобразования древесно-кустарниковой растительности на примере туи западной и сирени венгерской, выращиваемых на натуральном питательном растворе в гидропонике и аэропонике. Исследования проводили на базе кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова (г. Архангельск). В течение 45 дней в лабораторных условиях в

аэропонной и гидропонной установках укореняли черенки туи и сирени. В качестве питательного раствора использовали натуральный 2 % органический раствор «Гумистар». По результатам исследований установлено, что аэропонная установка способствует формированию густой хорошо разветвленной корневой системы растений, что важно при пересадке и укоренении черенков в грунт. В гидропонной установке формируется менее густая корневая система, в которой образуются только корни-транспортеры без сосущих корешков второго и третьего порядка. Процент укоренившихся черенков туи западной в аэропонике составляет 13 %, в гидропонике – 7; сирени венгерской в аэропонике – 30, в гидропонике – 13 %. При черенковании туи западной целесообразно использовать аэропонную установку, в которой первые корешки породы образуются на 11 суток быстрее в отличие от гидропонной системы. По результатам сравнительного анализа черенкования древесно-кустарниковых пород в гидропонике и аэропонике наибольшая эффективность корнеобразования растений наблюдается в воздушной среде.

Ключевые слова: *гидропоника, аэропоника, корнеобразование, черенкование, натуральный питательный раствор, туя западная (Thújaoccidentális L.), сирень венгерская (Syringajosikaea J.).*

Cutting is the fastest way of plants reproduction, which implies that rooted shoots reach the size of an adult plant in a short period of time. The simplest and most common method of cutting is rooting cuttings in water or in the ground; however, there are environmental technologies for growing plants – in hydroponic and aeroponic units using artificial/natural nutrient solutions. The aim of the research was to conduct a comparative analysis of the effectiveness of root formation process of tree and shrub vegetation on the example of Thújaoccidentális, L and Syringajosikaea, J grown in natural nutrient solution in hydroponic and aeroponic units. The research was conducted at the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests of Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk). The cuttings of arborvitae and lilac were rooted in aeroponic and hydroponic units in laboratory conditions during 45 days. "Gumistar", natural 2 % organic solution, was used as a nutrient solution. According to the research results, it was found out that aeroponic unit contributed to the formation of a dense well-branched root system, which was important when transplanting and rooting cuttings into the soil. In hydroponic unit a less dense root system was formed, in which only roots-carriers were formed without sucking roots of the second and third order. The percentage of American arborvitae rooted cuttings in aeroponic unit was 13%, in the hydroponic unit – 7 %; the percentage of Thújaoccidentális, L rooted cuttings in aeroponic unit was 30 %, in hydroponic unit it was 13 %. When cutting Syringajosikaea, J. it was advisable to use aeroponic unit in which the first roots of the species were formed 11 days faster in contrast to hydroponic system. According to the results of comparative analysis of cutting tree and shrub species in hydroponic and aeroponic units, the greatest efficiency of plant root formation was observed in air environment.

Keywords: *hydroponics, aeroponics, rooting, cuttings, natural nutrient solution, Thújaoccidentális L., Syringajosikaea J.*

Введение. Начиная с конца XVIII века среди способов вегетативного размножения древесно-кустарниковой растительности широкое применение в практике озеленения получило черенкование. Способ отличается эффективностью, поскольку выращивание за короткий период времени посадочного материала с закрепленными индивидуальными свойствами материнского экземпляра – одна из основных задач при размножении хвойных и лиственных декоративных пород [1, 2].

На сегодняшний день наиболее простой и распространенный способ черенкования – укоренение черенков в воде или в грунте с применением жидких минеральных удобрений и химических стимуляторов для ускоренного корнеобразования. В короткие сроки, за счет высокого содержания калия, железа, фосфора, азота и многих других элементов, искусственные пита-

тельные растворы способны повысить рост и продуктивность растений, однако они обладают способностью накапливаться в корнях и зеленой массе, тем самым снижая иммунитет декоративных пород. Они не имеют долгосрочного эффекта и изменяют кислотность питательной среды [2, 3].

В последние годы большую популярность набирают экологические технологии размножения и выращивания растений, основанные на органических натуральных средах. В отличие от искусственных, натуральные питательные растворы менее опасны и вредны, за счет естественного происхождения содержат много полезных микроэлементов в доступных и легкоусвояемых формах для растений.

Экологические технологии выращивания представляют собой системы для вегетативного размножения растительности без использования почвы на искусственных/естественных питательных жидких средах, в которых все необходимые элементы питания поглощаются растениями в легкоусвояемой форме в нужных соотношениях и концентрациях [4]. К числу таких технологий относятся аэропонные и гидропонные установки. Аэропоника (*fogponics*) – система выращивания растений в воздушной среде, в которой питательный раствор преобразуется в туман-аэрозоль посредством ультразвуковой мембраны. Вода распыляется на мельчайшие частицы размером менее 5 микрон, что позволяет корням растений легко ее поглощать [5]. Гидропоника – водная установка, в которой растения прикрепляются к специальным сеткам и корневая система черенков периодически подтапливается питательным раствором или находится в нем постоянно, в зависимости от конструкции установки и способа подачи раствора [6]. При использовании на практике представленных систем для черенкования необходимо учитывать особенности работы установок, их отрицательные и положительные стороны, которые оказывают влияние на эффективность процесса корнеобразования у хвойных и лиственных пород.

Цель исследований. Сравнительный анализ эффективности корнеобразования туи западной (лат. *Thúja occidentális* L.) и сирени венгерской (лат. *Syringa josikaea* J.), выращиваемых на натуральном питательном растворе в гидропонной и аэропонной установках.

Методы исследований. Исследования проводили на базе кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов САФУ имени М.В. Ломоносова (г. Архангельск). Объектом исследований послужили черенки туи западной и сирени венгерской, нарезанные длиной по 10–12 см без «пятки» при наличии двух-трех междоузлий на черенке. При заготовке срез побега проводился под углом 45° чуть ниже почки или узла на 4–5 мм [7]. Заготовка черенков осуществлялась в конце августа. Выбор декоративных пород для черенкования обусловлен преобладанием туи и сирени в практике озеленения северных городов.

В лабораторных условиях в трех повторностях, по 10 шт. каждой, укореняли черенки в аэропонной и гидропонной установках с применением натурального питательного 2 % органического раствора «Гумистар». При выращивании растений в гидропонике корневая система черенков постоянно находилась в питательном растворе. Для предотвращения застоя и зацветания питательной среды в гидропонной установке использовали компрессор, который проводил циркуляцию воды и обогащал ее кислородом.

Каждые два дня в изучаемых установках проводился замер корневой системы по количеству и длине образовавшихся корней. Продолжительность опыта составляла 45 дней. По окончании эксперимента установлен процент укоренившихся черенков в гидропонике и аэропонике по каждой изучаемой породе, среднее количество корней на черенках, общее количество образовавшихся корней и средняя их длина, а также даны рекомендации по применению каждого вида установок для черенкования хвойных и лиственных пород, заложенных в эксперименте. Результаты исследований подвергли статистической обработке с использованием программы STATISTICA, version 10, StatSoft, Inc., 2011, с вычислением среднеарифметических величин и среднеквадратических ошибок.

Результаты исследований. Эффективность процесса корнеобразования сирени венгерской

и туи западной в гидропонике и аэропонике определяли путем расчёта статистических показателей средней длины корней изучаемых растений, общего количества образовавшихся корней на черенках, укоренившихся черенков сирени и туи, а также был отмечен день образования первых корешков на каждом черенке изучаемых пород. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Эффективность укоренения хвойных и лиственных пород в гидропонной и аэропонной установках

Показатель	Аэропоника		Гидропоника	
	Сирень венгерская	Туя западная	Сирень венгерская	Туя западная
Количество укоренившихся черенков, шт.	9	4	4	2
Средняя длина корней, см	3,91±1,77	1,51±0,81	4,83±1,11	2,32±1,23
Общее количество образовавшихся корней, шт.	31	13	13	4
День появления первых корешков, сут	23	30	21	41
Процент укоренившихся черенков, %	30	13	13	7

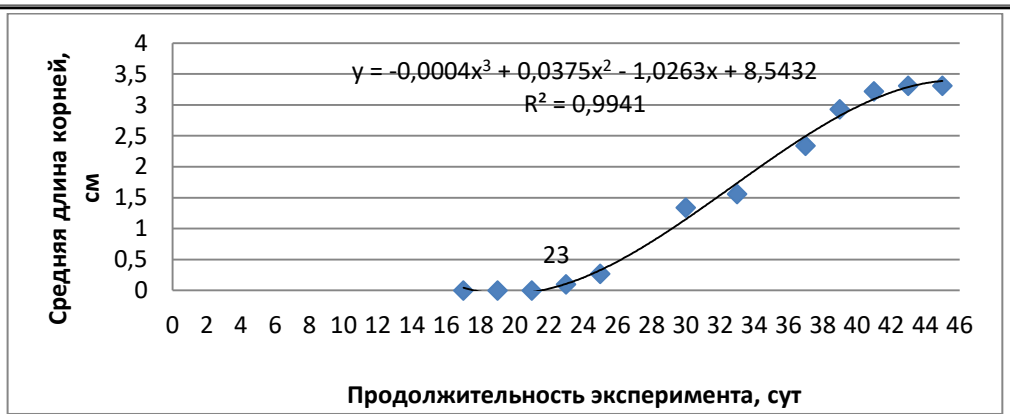
По результатам исследований установлено, что при воздействии на корневую часть побегов обе технологии черенкования (в гидропонике и аэропонике) дают положительные результаты. При использовании установок появляется возможность проводить вегетативное размножение и получать посадочный материал круглый год при создании необходимых условий для роста и развития черенков. Однако необходимо отметить, что в аэропонной установке процент укоренившихся черенков туи выше в 2,3 раза по сравнению с гидропоникой (30 и 13 %), а сирени в 1,85 раза (13 и 7 %, соответственно).

По значениям средней длины корневой системы черенков туи и сирени гидропонная установка лидирует по сравнению с аэропоникой. По результатам черенкования у сирени венгерской в гидропонике средняя длина корней (*lср*) стала больше в 1,23 раза по сравнению с черенками, укоренившимися в аэропонике (*lср* = 4,83± 1,11 см и *lср* = 3,91±1,77 см), а у туи западной – в 1,53 раза (*lср* = 2,32±1,23 см и *lср* = 1,51± 0,81 см) (tst<3). Однако по общему числу образовавшихся корней выигрывает аэропонная установка. За счет туманообразного состояния питательного раствора она формирует более густую корневую систему растений с большим количеством придаточных корней. Корни растут крупным пучком, большинство из них имеют одинаковую длину, что важно при пересадке и укорении черенков в грунт. В гидропонной установке корень, достигнув питательного раствора, продолжает свой рост только в длину, в результате формируется менее разветвленная корневая система, состоящая из корней первого порядка (транспортеров), на которых отсутствуют боковые корешки (рис. 1). За счет прямого доступа к питательной среде у растений в гидропонике пропадает необходимость формировать корни второго и третьего порядка, что при пересадке и укоренении черенков в почвенный субстрат может привести к повреждению главного корня и гибели растения.

а б

Рис. 1. Выращивание сирени венгерской в аэропонике (а) и гидропонике (б)

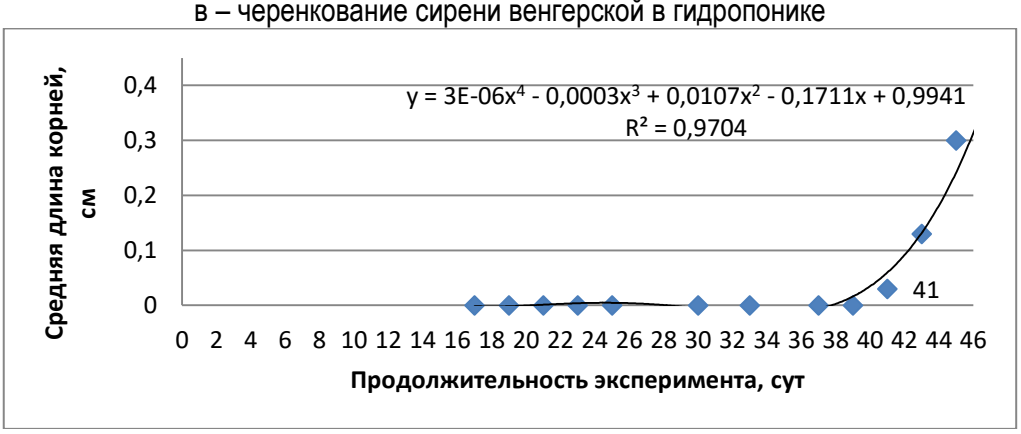
С применением регрессионного анализа (рис. 2) на графиках можно наглядно проследить динамику прироста средней длины корневой системы черенков на каждый день эксперимента, а также установить первый день формирования корней при черенковании туи и сирени в изучаемых установках. Если при сравнении выращивания сирени венгерской в гидропонике и аэропонике разница в появлении первых корешков составляет 2 суток, то при укоренении туи западной – 11 дней. За счет ультразвуковой мембраны питательный раствор в аэропонике преобразуется в туман-аэрозоль и полностью обволакивает черенок, тем самым активизируется и улучшается процесс клеточного деления и ускоряется процесс корнеобразования. Согласно исследованиям, укоренение хвойных пород – процесс непростой и очень длительный, порой нужен целый год, а иногда и не один. Аэропонная установка позволяет сократить срок выращивания черенков и сформировать густую корневую систему для быстрого укоренения и приживаемости хвойников при пересадке в грунт (рис. 3).



а – черенкование сирени венгерской в аэропонике

б – черенкование туи западной в аэропонике

в – черенкование сирени венгерской в гидропонике



г – черенкование туи западной в гидропонике

Рис. 2. Динамика прироста средней длины корневой системы на каждый день эксперимента

Рис. 3. Выращивание туи западной в аэропонной установке

Проанализировав и обобщив полученные данные по эффективности корнеобразования черенков туи и сирени в гидропонной и аэропонной установках (табл. 2), мы выявили оптимальную систему, пригодную для черенкования декоративных пород древесно-кустарниковой растительности. Сравнение проводили по преобладающим значениям изучаемых показателей, представленных в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ процесса черенковая в гидропонной и аэропонной установках

Показатель	Аэропоника		Гидропоника	
	Сирень венгерская	Туя западная	Сирень венгерская	Туя западная
Количество укоренившихся черенков, шт.	+	+		
Средняя длина корней, см			+	+
Общее количество образовавшихся корней, шт.	+	+		
День появления первых корешков, сут		+	+	
Процент укоренившихся черенков, %	+	+		
ИТОГО	7 баллов		3 балла	

По результатам анализа процесса черенкования туи западной и сирени венгерской в изучаемых системах установлено: наилучший результат корнеобразования и выращивания растений наблюдается в аэропонной установке (7 преимуществ по отношению к 3). Несмотря на наибольшую среднюю длину корней декоративных пород, сформированных в гидропонике, по остальным показателям преобладает аэропонная система. Показатели количественного и процентного соотношения укоренившихся черенков и общее количество образовавшихся корней хвойной и лиственной породы доказывают эффективность процесса корнеобразования растений при выращивании их в воздушной среде, что определяет возможность применения на практике аэропоники при черенковании хвойных и лиственных пород.

Выводы. По результатам исследований сделаны выводы и предложены рекомендации

по использованию гидропонной и аэропонной установок при черенковании туи западной и сирени венгерской.

1. При использовании гидропоники и аэропоники появляется возможность проводить вегетативное размножение древесно-кустарниковой растительности и получать посадочный материал для озеленения круглый год.

2. В аэропонной установке, в отличие от гидропоники, процент укоренившихся черенков туи западной выше в 1,85 раза (в аэропонике – 7 %, в гидропонике – 13 %), сирени венгерской – в 2,3 раза (в аэропонике – 30 %, в гидропонике – 13 %).

3. В гидропонике у черенков сирени венгерской средняя длина корней больше в 1,23 раза по сравнению с черенками, укоренившимися в аэропонике (*lср* = 4,83±1,11 см и *lср* = 3,91± 1,77 см), у туи западной – в 1,53 раза (*lср* = 2,32±1,23 см и *lср* = 1,51±0,81 см).

4. Аэропонная установка способствует формированию хорошо разветвленной корневой системы растений с большим количеством придаточных корней, что важно при пересадке и укоренении черенков и лучшей их приживаемости в грунте.

5. В результате сравнительного анализа укоренения черенков изучаемых декоративных пород рекомендуем использовать аэропонную систему.

6. В практических целях при черенковании туи западной рекомендуем применять аэропонную установку.

Литература

1. *Бессчетнов В.П., Кентбаев Е.Ж.* Опыт зеленого черенкования облепихи крушиновидной в условиях Юго-Востока Казахстана // Лесной журнал. – 2018. – № 4. – С. 56–62.
2. *Кулькова А.В.* Корреляция показателей корнеобразования и пострегенерационного развития черенков ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) // Лесной журнал. – 2018. – № 3. – С. 28–36.
3. *Чернодубов А.И.* Подкормка маточных плантаций тополей // Лесной журнал. – 2001. – № 4. – С. 125–128.
4. *Руденко О.А., Шестак К.В.* Черенкование интродуцентов на гидропонике // Хвойные бореальной зоны. – Красноярск: РИЦ СибГТУ, 2006. – Т. XXIII. – № 2. – С. 214–217.
5. URL: https://floragrowing.com/ru/encyclopedia/aeroponika.
6. URL: http://ru-ecology.info/post/103667200960015/.
7. ГОСТ Р 53044-2008. Материал плодовых и ягодных культур посадочный. Термины и определения. – М., 2008.

Literatura

1. *Besschetnov V.P., Kentbaev E.Zh.* Opyt zelenogo cherenkovanija oblepihi krushinovidnoj v uslovijah Jugo-Vostoka Kazahstana // Lesnoj zhurnal. – 2018. – № 4. – S. 56–62.
2. *Kul'kova A.V.* Korreljacija pokazatelej korneobrazovanija i postregeneracionnogo razvitija cherenkov eli evropejskoj (*Ricea abies* (L.) H. Karst.) // Lesnoj zhurnal. – 2018. – № 3. – S. 28–36.
3. *Chernodubov A.I.* Podkormka matochnyh plantacij topolej // Lesnoj zhurnal. – 2001. – № 4. – S. 125–128.
4. *Rudenko O.A., Shestak K.V.* Cherenkovanie introducentov na gidroponike // Hvojnye boreal'noj zony. – Krasnojarsk: RIC SibGTU, 2006. – T. XXIII. – № 2. – S. 214–217.
5. URL: https://floragrowing.com/ru/encyclopedia/aeroponika.
6. URL: http://ru-ecology.info/post/103667200960015/.
7. GOST R 53044-2008. Material plodovyh i jagodnyh kul'tur posadochnyj. Terminy i opredelenija. – M., 2008.