

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СУБСТРАТОВ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭФИРОМАСЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ СЕМЕЙСТВА LAMIACEAE ПРИ АДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ EX VITRO

INFLUENCE OF SUBSTRATE COMPOSITION ON MORPHOPHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF ESSENTIAL OIL PLANTS-REGENERATORS OF THE FAMILY LAMIACEAE DURING ADAPTATION TO EX VITRO CONDITIONS

L. Tokhtar
N. Zhilyaeva
V. Chernykh
V. Tokhtar
M. Tretyakov
D. Biryukov

Summary. The article provides data on the effect of various types of substrates on essential oil-rooted *in vitro* regenerating plants *Mentha piperita* L. (variety Kubanskaya 6), *Origanum vulgare* L. (varieties Mila and Khutoryanka), *Hyssopus seravschanicus* (Dubj.) Pazij. Sand, agropelite, vermiculite, and silicite were used as additives in a 1:5 ratio with peat. Morphophysiological characteristics were evaluated using a 3D multispectral scanner Phenospex PlantEye F500 according to the following parameters: 3D leaf area; leaf area index; projected leaf area; digital biomass; plant height; maximum height; leaf slope; leaf angle; depth of light penetration through leaves; leaf shade; green leaf index (GLI); normalized differential vegetation index (NDVI); normalized chlorophyll index (NPCl); leaf aging index (PSRI). The effect of substrate types on regenerating plants was calculated using the growth rates of morphophysiological parameters according to the basic method and the degree of parameter connectivity using the weight of the correlation graph. During the conducted research, the optimal types of substrates for the successful adaptation of the studied species of essential oil plants were identified.

Keywords: adaptation, regenerating plants, *Mentha piperita* L., *Origanum vulgare* L., *Hyssopus seravschanicus* (Dubj.) Pazij., types of substrates.

Тохтарь Людмила Анатольевна

кандидат биологических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», г. Белгород
ltokhtar@bsuedu.ru

Жилыева Наталья Васильевна

Аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», г. Белгород
natali.zhilyaeva1979@mail.ru

Черных Владислав Алексеевич

Аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», г. Белгород
1249316@bsuedu.ru

Тохтарь Валерий Константинович

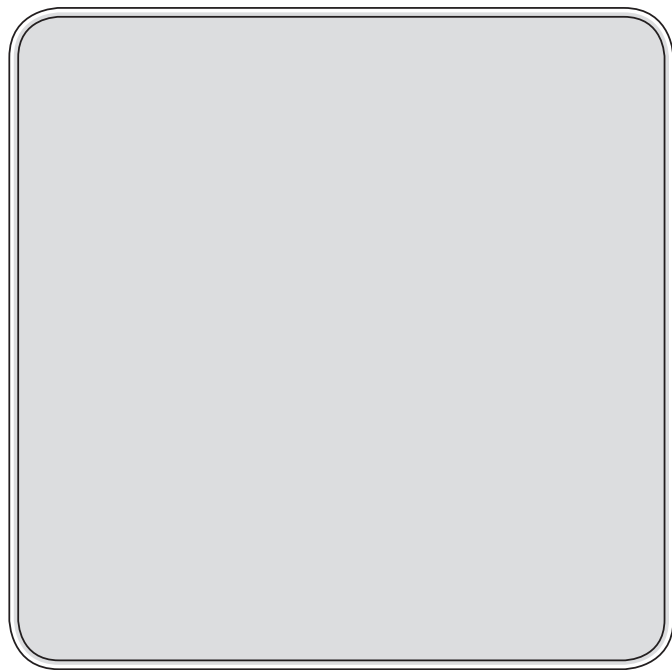
Доктор биологических наук, Старший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», г. Белгород
tokhtar@bsuedu.ru

Третьяков Михаил Юрьевич

кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», г. Белгород
tretyakovmiy@gmail.com

Бирюков Денис Валерьевич

Младший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», г. Белгород
biryukov@bsuedu.ru



Введение

Интерес к возделыванию растений, содержащих эфирные масла, обусловлен увеличивающейся потребностью в натуральных продуктах и экологизации производства. Эфиромасличные растения и продукты их переработки используются в парфюмерно-косметической, пищевой, кондитерской, ликеро-водочной и фармацевтической промышленности [1].

В настоящее время для создания новых высокопродуктивных форм и сортов хозяйственно ценных растений широко применяются биотехнологические методы, позволяющие существенно ускорять селекционный процесс. При этом использование методов клонального микроразмножения позволяют не только быстро размножать *in vitro* ценные образцы, но и внедрять новые сорта в производство.

Адаптация *ex vitro* растений-регенерантов является заключительным этапом клонального микроразмножения. На этом этапе морфогенетический потенциал растений-регенерантов может быть наиболее эффективно реализован при соблюдении оптимальных условий среды, в которые переносятся растения *in vitro*. При этом одним из наиболее важных факторов является состава субстратов, применяемых для адаптации растений-регенерантов к нестерильным условиям [2]. Чаще всего для адаптации используют минерализованные торфяные субстраты и их смеси с агроперлитом. Однако в настоящее время продолжается изучение возможностей применения и других субстратов с целью увеличения доли успешно адаптированных растений и улучшения их роста и развития [3–5].

Аннотация. В статье приводятся данные по влиянию различных типов субстратов на эфиромасличные укорененные *in vitro* растения-регенеранты *Mentha piperita* L. (сорт Кубанская 6), *Origanum vulgare* L. (сорта Мила и Хуторянка), *Hyssopus seravschanicus* (Dubj.) Pazij. В качестве добавок использовали песок, агроперлит, вермикулит, кремневит в соотношении с торфом 1:5. Оценку морфофизиологических характеристик проводили при помощи 3D мультиспектрального сканера Phenospex PlantEye F500 по следующим параметрам: 3D площадь листьев; индекс площади листа; проектируемая площадь листьев; цифровая биомасса; высота растений; максимальная высота; наклон листьев; угол наклона листьев; глубина проникновения света через листья; оттенок листьев; индекс зеленого листа (GLI); нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (NDVI); нормализованный индекс хлорофиллов (NPCI); индекс старения листьев (PSRI). Влияние типов субстратов на растения-регенеранты рассчитывалось при помощи темпов приростов морфофизиологических показателей по базисному методу и степени связанности параметров с помощью веса корреляционного графа. В ходе проведенных исследований выявлены оптимальные типы субстратов для успешной адаптации изученных видов эфиромасличных растений.

Ключевые слова: адаптация, растения-регенеранты, *Mentha piperita* L., *Origanum vulgare* L., *Hyssopus seravschanicus* (Dubj.) Pazij., типы субстратов.

Субстраты, применяемые для адаптации, как правило, являются двух- трехкомпонентными смесями, в которых используются такие исходные вещества как торф, песок, перлит, ионообменные субстраты, биогумус, минеральные удобрения, водоудерживающие препараты.

Улучшение свойств торфосмеси для адаптации растений-регенерантов к условиям *ex-vitro* может достигаться путем добавления неорганических компонентов: песок, агроперлит, цитро- и фосфогипс. Их использование позволяет оптимизировать агрохимические характеристики и водно-физические свойства субстратов, а в некоторых случаях активизировать микробиологические процессы в них [6].

В работах по адаптации к нестерильным условиям *ex vitro* сортового посадочного материала брусники обыкновенной *in vitro* было установлено, что наибольшая приживаемость растений выявлена при использовании следующих типов субстратов: торф верхового типа и смесь торфа с перлитом (1:4); торф с вермикулитом (1:4) [7–9]. В работах Колбановой и др. [10] установлено, что растения-регенеранты смородины черной (*Ribes nigrum* L.), высаженные в почвенные субстраты, состоящие из различных комбинаций торфа, перлита и вермикулита, на 21-е сутки адаптационного периода имели стопроцентную приживаемость у всех исследуемых сортов растений в варианте торф+перлит. При применении лишь торфа (контроль) приживаемость растений-регенерантов составила 80,0 %. В статье также отмечено, что морфометрические показатели растений-регенерантов в зависимости от сорта смородины черной были выше в вариантах применения субстрата с использованием комбинации торф+перлит и торф+вермикулит [10].

Еще одним компонентом, который может быть рекомендован в качестве неорганической составляющей добавки в субстраты на этапе адаптации растений-регенерантов, являются гипсосодержащие отходы промышленных производств (фосфо- и цитрогипс). Они положительно влияют на рост и развитие растений [11–13], а, следовательно, и адаптацию микроклонов к нестерильным условиям среды.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись укорененные *in vitro* растения-регенеранты *Mentha piperita* L. (сорт Кубанская 6), *Origanum vulgare* L. (сорта Мила и Хуторянка), *Hyssopus seravschanicus* (Dubj.) Pazij., которые имели не менее 4–5 листьев и развитую корневую систему.

Для адаптации к условиям *ex vitro* растения высаживали в кассеты с объемом ячейки 50 мл, заполненные субстратом на основе верхового торфа с комплексом удобрений марки «Агробалт-С», который по данным производителя имеет следующие характеристики: рН 5,5–6,6, содержание азота (N) — 150 мг/л, фосфора (P_2O_5) — 150 мг/л, калия (K_2O) — 250 мг/л, магния (Mg) — 30 мг/л, кальция (CaO) — 120 мг/л, микроэлементы, органического вещества не менее 80 %.

Для улучшения агрофизических и физико-химических показателей субстрата в качестве добавок использовали песок, агроперлит, вермикулит, кремневит в соотношении с торфом 1:5.

На период адаптации кассеты с высаженными растениями размещали в отапливаемой теплице в парниках, накрытых полиэтиленовой пленкой для создания условий повышенной влажности. Внутри парников установлены светодиодные светильники с автоматической регулировкой интенсивности освещения. Условия адаптации: температура воздуха $+24 \pm 2^\circ C$, освещенность — 4000 люкс, фотопериод 16/8 часов. Для поддержания высокого уровня увлажнения ежедневно осуществлялось опрыскивание растений и их полив по мере необходимости.

Для оценки влияния типов субстратов на морфобиологические характеристики растений использовали 3D мультиспектральный сканер Phenospex PlantEye F500, который позволяет без инвазивного воздействия оценивать динамику изменений параметров объектов в процессе проведения экспериментов. В ходе эксперимента исследовались следующие показатели роста и развития растений: 3D площадь листьев (3D Leaf Area), cm^2 ; индекс площади листа (Leaf Area Index) cm^2/cm^2 ; проектируемая площадь листьев (Projected Leaf Area), cm^2 ; цифровая биомасса (Digital Biomass), cm^3 ; высота растений (Height), мм; максимальная высота (Height Max), мм; наклон ли-

стьев (Leaf Inclination), cm^2/cm^2 ; угол наклона листьев (Leaf Angle), от 0 до 90° ; глубина проникновения света через листья (Light Penetration Depth), мм; оттенок листьев (Hue) — диапазон значений от 0 до 360° цветового круга; индекс зеленого листа (Green Leaf Index (GLI)) — диапазон значений от -1 до 1; нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (Normalized differential vegetation index (NDVI)) — диапазон значений от -1 до 1; нормализованный индекс хлорофиллов (Normalized pigment chlorophyll ratio index (NPCI)) — диапазон значений от -1 до 1; индекс старения листьев (Plant senescence reflectance index (PSRI)) — диапазон значений от -1 до 1.

Все измерения обрабатывались статистически с помощью вычисления следующих величин: среднее арифметическое, стандартное отклонение, доверительный интервал.

Темп прироста морфобиологических показателей растений рассчитывался по базисному методу согласно формуле (1):

$$\Delta TP = \frac{(P_k - P_n)}{P_n} \times 100\% \quad (1)$$

где P_k — конечные значения показателя; P_n — начальные значения показателя.

Для оценки адаптивного потенциала растений-регенерантов использовались значения, полученные в ходе проведения эксперимента на 3D мультиспектральном сканере Phenospex PlantEye F500.

Анализ коэффициентов парной корреляции [14] производился между всеми изученными параметрами на средних значениях по всем растениям в течение всего эксперимента. Степень связанности параметров оценивалась с помощью веса корреляционного графа по формуле (2) согласно исследованиям, проведенным в работе Горбань А.Н. с соавторами [14]:

$$G = \sum_{|r_{ij}| \geq 0.5} |r_{ij}| \quad (2)$$

где r_{ij} — коэффициент корреляции между i -м и j -м показателями.

Показатели значений графов, основанные на изучении корреляций признаков, рассматриваются нами как параметры, которые отражают интегрированную оценку характера развития растений в различных условиях среды, включая их адаптацию к условиям *ex vitro*. Неблагоприятные условия могут вызывать у растений несогласованный характер изменчивости признаков при их росте и, как следствие — существенное изменение (увеличение) значений корреляций и графов. В случае, если значения графов изменяются слабо или остаются на одном уровне можно сделать вывод о согласованном

и соразмерном изменении корреляционных признаков в процессе роста и развития растений. Это свидетельствует о нормальном, гармоничном развитии растений в конкретных условиях среды.

Результаты и обсуждение

Полученные в ходе проведения эксперимента средние значения адаптированных растений-регенерантов *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6), *Origanum vulgare* (сорт Мила), *Origanum vulgare* (сорт Хуторянка), *Hyssopus seravschanicus* позволили рассчитать темпы прироста по каждому показателю, приставленные в таблицах 1–4. По каждому признаку проведена градация от зеленого цвета, которому соответствуют максимальные значения к красному, которому соответствуют минимальные значения.

В ходе проведенного исследования было установлено, что для изученных растений-регенерантов оптимальными типами субстратов дававших наибольшее число максимальных темпов прироста были:

Mentha piperita (сорт Кубанская 6) — смесь вермикулита и торфа в соотношении 1:5;

Origanum vulgare (сорт Мила) — смесь вермикулита и торфа в соотношении 1:5;

Origanum vulgare (сорт Хуторянка) — смесь вермикулита и торфа в соотношении 1:5;

Hyssopus seravschanicus — торфяной субстрат без добавок и смесь песка и торфа в соотношении 1:5.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при выборе состава субстратов необходимо руководствоваться эколого-биологическими особенностями культивируемого вида. Растения, произрастающие в естественной среде в одинаковых экологических условиях, хорошо адаптируются на одинаковых типах субстратов. *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6), *Origanum vulgare* (сорт Мила), *Origanum vulgare* (сорт Хуторянка) наиболее активно развивались на смеси вермикулита и торфа в соотношении 1:5. Растения *Hyssopus seravschanicus* более эффективно росли на торфяном субстрате без добавок. Иссоп зерноватый в естественных условиях произрастает на каменистых склонах, осыпях, галечных степных участках и в ущельях в Иране, Афганистане, Средней Азии [15], что, скорее всего и способствовало успешному культивированию на торфяном субстрате без добавок и смеси песка и торфа в соотношении 1:5.

Для оценки адаптивного потенциала растений-регенерантов к произрастанию на различных типах смесей

субстратов был проведен анализ коэффициентов парной корреляции между средними значениями всех изученных параметров в течение начала и окончания эксперимента. Это позволило составить корреляционные матрицы изученных параметров и рассчитать корреляционные графы представленные в таблице 5, значения которых выступают в качестве цифрового показателя адаптационного потенциала модельных видов растений-регенерантов в отношении влияния на них условий выращивания на разных составах субстратов.

Наименьшие значения корреляционного графа характеризуют условия, при которых в растениях не происходит никаких значительных изменений и уровень факторов стресса минимален. Полученные результаты анализа адаптационного потенциала отличаются от данных, полученных в ходе анализа темпов прироста по каждому из показателей таблицы 1–4. Максимальные значения темпов прироста отмечены у *Hyssopus seravschanicus* при его выращивании на смеси песка и торфа. Значения же корреляционного графа отличались незначительно: при переносе растений из-под пленки они составили 36,88, а к концу адаптации — 35,09.

Для видов *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6), *Origanum vulgare* (сорт Мила) и *Origanum vulgare* (сорт Хуторянка) наибольшие значения темпов прироста по морфобиологическим параметрам отмечались в случае использования в качестве субстрата для адаптации смеси торф+вермикулит. Несмотря на это, максимальные и минимальные значения корреляционных графов отличались у каждого вида, что дает возможность более точно выявить оптимальный компонентный состав субстрата для адаптации растений *in vitro*. Так, у *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6) минимальное изменение значения корреляционного в течение эксперимента графа наблюдалось в случае смеси торф+вермикулит: при переносе растений из-под пленки они составили 28,29, а к концу адаптации — 29,98.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что увеличение темпов прироста цифровой биомассы и индексов NDVI не всегда свидетельствуют о благоприятном развитии растений-регенерантов в условиях адаптации. Любой стресс у растений провоцирует активизацию процессов их роста и развития. При высоких уровнях стрессовых нагрузок на растения на стадии их адаптации к нестерильным условиям среды может нарушаться их нормальное функционирование. При этом значения корреляционных связей признаков будут снижаться, что, по-видимому, может свидетельствовать об ухудшении состояния растений. *Origanum vulgare* (сорт Мила) имел достаточно близкие по разнице значения в начале и конце эксперимента, но с разной динамикой: торф+агроперлит разница составила 5,05 (понижение значений), а торф+вермикулит 5,8 (повы-

Таблица 1.

Влияние состава субстратов на морфофизиологические параметры растений-регенерантов *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6) при адаптации к условиям *ex vitro*

Компонентный состав субстратов	Цифровая биомасса	Индекс зеленых листьев	Высота	Высота макси- мальная	Оттенок листьев	Угол наклона листа	Площадь листа	Индекс площа- ди листа	Проектируемая площадь листа	Наклон листа	Глубина проникновения света	NDVI	NPCI	PSRI
	Темпы приростов, %													
	5,06	-10,98	-9,14	-7,57	-8,05	-6,52	16,73	16,69	11,74	5,43	-6,05	-9,40	27,36	45,37
Торф + песок	21,84	-3,79	0,84	-1,09	-5,10	-2,41	22,84	22,79	19,47	1,82	3,58	-7,20	28,00	41,14
Торф + агроперлит	4,99	-4,14	-5,94	-6,82	-6,33	-0,50	10,16	10,16	8,98	0,48	-11,16	-7,26	33,78	45,20
Торф + вермикулит	42,78	3,48	12,67	11,06	-0,73	-5,16	26,68	26,31	21,77	4,17	11,83	0,15	17,14	15,07
Торф + кремневит	12,27	-4,99	-1,51	-0,44	-4,48	-4,13	12,98	13,08	9,03	3,50	0,06	-3,50	12,68	17,90

Таблица 2.

Влияние компонентного состава субстратов, применяемых при адаптации микроклонов к нестерильным условиям среды, на изменения темпов роста значений морфофизиологических параметров растений-регенерантов *Origanum vulgare* (сорт Мила)

Компонентный состав субстратов	Цифровая биомасса	Индекс зеленых листьев	Высота	Высота максимальная	Оттенок листьев	Угол наклона листа	Площадь листа	Индекс площади листа	Проектируемая площадь листа	Наклон листа	Глубина проникновения света	NDVI	NPCI	PSRI	
	Темпы приростов, %														
	-3,88	-18,86	-6,35	-5,12	-11,30	-11,84	1,20	1,19	-7,81	11,18	7,51	-12,99	34,52	60,07	
	18,59	-12,50	-19,11	-16,52	-11,16	1,80	24,84	24,64	25,71	-1,21	-5,29	-8,84	47,14	67,94	
	6,63	-12,13	4,30	11,34	-12,16	-2,01	4,21	4,36	3,03	1,23	20,08	-8,72	43,65	61,13	
	51,41	-10,36	9,01	8,01	-3,67	-3,51	38,73	38,85	34,17	2,34	37,57	-3,93	1,91	8,28	
	7,67	-7,14	-1,77	-5,40	-7,79	3,26	13,56	13,45	16,28	-2,25	-3,77	-2,32	31,46	28,31	

Таблица 3.
Влияние компонентного состава субстратов, применяемых для адаптации микроклонов к нестерильным условиям среды, на изменения темпов роста значений морфофизиологических параметров растений-регенерантов *Origanum vulgare* (сорт Хуторянка)

Компонентный состав субстратов	Цифровая биомасса	Индекс зеленых листьев	Высота	Высота максимальная	Оттенок листьев	Угол наклона листа	Площадь листа	Индекс площади листа	Проектуемая площадь листа	Наклон листа	Глубина проникновения света	NDVI	NPCI	PSRI	
	Темпы приростов, %														
	21,50	-5,86	8,44	13,44	-5,82	-1,61	14,68	14,75	12,81	1,09	16,54	-4,41	20,73	26,11	
	-2,07	-4,44	-10,20	-8,47	-6,20	-7,30	8,20	8,22	2,80	6,14	-2,06	-6,95	36,04	45,46	
	1,40	-9,99	-12,24	-17,86	-9,09	-1,41	10,81	10,84	10,39	1,07	-8,57	-6,57	26,16	43,94	
	33,09	-8,83	3,35	14,04	1,17	-1,91	23,53	23,61	21,79	1,86	39,19	0,51	-18,30	-18,16	
	2,22	-22,84	-5,78	-6,68	-14,67	-1,54	7,05	6,98	6,04	1,19	8,87	-8,50	18,94	34,60	

Таблица 4.
Влияние компонентного состава субстратов, применяемых для адаптации микроклонов к нестерильным условиям среды, на изменения темпов роста значений морфофизиологических параметров растений-регенерантов *Hyssopus seravschanicus*

Компонентный состав субстратов	Цифровая биомасса	Индекс зеленых листьев	Высота	Высота максимальная	Оттенок листьев	Угол наклона листа	Площадь листа	Индекс площади листа	Проектируемая пло- щадь листа	Наклон листа	Глубина проникновения света	NDVI	NPCI	PSRI	
	Темпы приростов, %														
	133,77	-1,01	37,68	43,22	2,88	-3,77	70,53	71,08	66,53	2,77	83,86	-0,85	-27,49	-21,63	
	108,76	26,51	23,73	24,53	10,47	-4,52	71,95	71,19	66,99	4,01	38,52	7,29	-47,00	-68,30	
	56,52	2,94	9,85	16,27	6,86	-0,87	43,67	43,37	44,55	0,49	-0,24	2,25	-31,65	-46,94	
	84,28	10,17	33,70	33,95	1,96	-1,96	40,20	40,00	34,84	1,32	64,96	2,91	-11,32	-15,78	
	99,95	3,68	31,08	38,53	3,09	3,93	58,48	58,59	61,19	-3,16	42,91	2,52	-13,79	-23,02	

Таблица 5.

Влияние компонентного состава субстратов на адаптационный потенциал модельных растений-регенерантов

Латинское название растения / сорт	Дни проведения оценки растений	Варианты компонентного состава субстратов				
		Торф (контроль)	Торф + песок	Торф + агроперлит	Торф + вермикулит	Торф + кремневит
		Корреляционные графы адаптационного потенциала растений				
<i>Mentha piperita</i> (сорт Кубанская 6)	18	25,34	35,90	20,42	28,29	28,34
	30	26,39	23,89	28,14	29,98	23,45
<i>Origanum vulgare</i> (сорт Мила)	18	14,73	22,44	32,81	34,16	40,34
	30	24,04	39,63	27,73	39,96	18,81
<i>Origanum vulgare</i> (сорт Хуторянка)	18	35,28	17,67	33,97	31,73	20,22
	30	46,76	26,51	49,74	40,56	27,04
<i>Hyssopus seravschanicus</i>	18	37,40	36,88	28,38	40,42	28,62
	30	46,39	35,09	40,02	43,87	30,84

шение значений). У *Origanum vulgare* (сорт Хуторянка) во всех изученных субстратах наблюдалось увеличение значений корреляционного графа, минимальным оно было в случае смеси торф+кремневит и составило 6,82 несмотря на то, что темпы прироста в данном случае были не высоки по сравнению с другими вариантами.

Заключение

Изучение влияния применения различных составов субстратов на адаптацию некоторых эфиромасличных растений *in vitro* к нестерильным условиям среды позволило выявить лучшие типы смесей для всех четырех изученных модельных-видов. Применение компонентного состава субстрата в виде смеси торфа и песка в соотношении 5:1 снизил значения корреляционного графа адаптационного потенциала у двух видов: *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6), *Hyssopus seravschanicus*. Ком-

понентный состав в виде смеси торфа и агроперлита в соотношении 5:1 снижал значения корреляционного графа адаптационного потенциала у *Origanum vulgare* (сорт Мила). Компонентный состав в виде смеси торфа и вермикулита в соотношении 5:1 минимально повысил значения корреляционного графа адаптационного потенциала для *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6). Для остальных же видов повышение значений было более значимым. Данные результаты согласуются с динамикой темпов прироста, по основным показателям, представленным в таблицах 4–7. Компонентный состав в виде смеси торфа и кремневита в соотношении 5:1 снижал значения корреляционного графа адаптационного потенциала у двух видов: *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6), *Origanum vulgare* (сорт Мила).

Таким образом, проведенная с помощью интегральных графов оценка состояния растений *in vitro* на стадии их адаптации позволяет выявить наиболее благоприятные условия произрастания видов и сортов при использовании различных типов субстратов. Наименьшее изменение показателей графов свидетельствует о согласованном и соразмерном характере изменчивости корреляций исследованных признаков в начале и в конце периода адаптации. При этом наблюдается гармоничный рост растений, который свидетельствует о высоком уровне адаптации растений на конкретном субстрате в условиях *ex vitro*. Согласно полученным данным установлено, что растения *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6) *Origanum vulgare* (сорт Мила) *Origanum vulgare* (сорт Хуторянка) наиболее успешно адаптировались на субстрате «вермикулит+торф». Растения *Hyssopus seravschanicus* лучше адаптировались к условиям среды на субстрате, «песок торф», что может быть связано с эволюционно выработанными эколого-биологическими особенностями вида, в которых он произрастает в природных условиях.

Финансирование

Работа выполнена в рамках реализации проекта № FZWG-2024-0002 «Разработка междисциплинарных подходов эффективной фиторемедиации отходов промышленных и аграрных предприятий путем фитоэкстракции из них ценных компонентов и создания удобрений на их основе».

ЛИТЕРАТУРА

- Ахrameева М.А. Перспективы использования продуктов переработки эфиромасличного сырья в производстве косметических изделий / М.А. Ахrameева, Н.В. Глумова // Научный и инновационный потенциал развития производства, переработки и применения эфиромасличных и лекарственных растений: МАТЕРИАЛЫ IV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Симферополь, 22–25 июня 2022 года. — Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2022. — С. 127–134.
- Папихин Р.В. Оптимизация состава торфяных субстратов при культивировании гортензии крупнолистной (*Hydrangea macrophylla*) / Р.В. Папихин, С.А. Муратова, К.А. Бекетова // В сборнике: Экологические проблемы в отечественном садоводстве (V Потаповские чтения). Материалы Всероссийской (нацио-

- нальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора сельскохозяйственных наук, профессора, лауреата Государственной премии В.А. Потапова. Мичуринск — наукоград РФ, 2023. С. 249–254.
3. Гашенко О.А. Влияние субстратов на ризогенез и адаптацию *ex vitro* растений-регенерантов ежевики / О.А. Гашенко, В.Н. Кухарчик // В сборнике: Плодоводство. Сборник научных трудов. Минск, 2020. С. 134–138.
 4. Колбанова Е.В. Одновременное прямое укоренение *ex vitro* и адаптация микропобегов жимолости синей (*Lonicera caerulea* L. var. *kamtschatica*) / Е.В. Колбанова // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2020. Т. 58. № 3. С. 298–310.
 5. Любимова Е.И. Использование мха-сфагнума на стадии укоренения и адаптации регенерантов *ex vitro* / Е.И. Любимова, Л.Н. Коновалова // В кн.: Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира. Материалы VII научно-практической конференции. 2016. Ялта, ИТ «АРИАЛ»: 94–95.
 6. Кухарчик Н.В. Использование искусственных субстратов при адаптации плодовых и ягодных растений после культуры *in vitro* / Н.В. Кухарчик, С.Э. Семенов, Н.В. Волосевич // Производство и применение агроперлита. Опыт, технологии, перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Киев, 26–28 мая 2008 г. / Нац. бот. сад им. Н.Н. Гришко НАН Украины, Гос. предпр. «Украин. науч.-исслед. и проектно-конструктор. ин-т строит. материалов и изделий «НИИСМИ». — Киев, 2008. — С. 37–42.
 7. Чудецкий А.И. Адаптация брусники обыкновенной *ex vitro* с использованием современных стимуляторов роста / А.И. Чудецкий, С.С. Макаров // В сборнике: Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения. Сборник материалов IX Международная научная конференция молодых ученых. Москва, 2021. С. 56–60.
 8. Чудецкий А.И. Укоренение *in vitro* и адаптация к нестерильным условиям российских сортов брусники обыкновенной / А.И. Чудецкий, С.С. Макаров, С.А. Родин, И.Б. Кузнецова, Т.А. Макарова, Л.В. Зарубина // Лесохозяйственная информация. 2023. № 2. С. 102–114.
 9. Чудецкий А.И. Адаптация сортового посадочного материала брусники обыкновенной к нестерильным условиям *ex vitro* для выращивания на нелесных землях / А.И. Чудецкий, С.А. Родин, Л.В. Зарубина, И.Б. Кузнецова // Лесохозяйственная информация. 2021. № 4. С. 106–113.
 10. Колбанова Е.В. Клональное микро размножение смородины черной сорта Санюта / Е.В. Колбанова, Н.В. Кухарчик // Плодоводство и ягодоводство России. 2011. Т. 26. С. 222–229.
 11. Патент № 2806430 С1 Российская Федерация, МПК А01G 24/10, А01G 23/00, В09В 3/00. Способ применения цитрогипса в качестве грунта для выращивания растений: № 2023104644: заявл. 01.03.2023: опубл. 31.10.2023 / И.С. Никулин, В.К. Тохтарь, Л.А. Тохтарь [и др.]; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет».
 12. Патент № 2819792 С1 Российская Федерация, МПК В09С 1/00, С05F 17/05. Способ восстановления техногенно-нарушенных урбанизированных земель: № 2023130587: заявл. 23.11.2023: опубл. 24.05.2024 / Е.А. Пендюрин; заявитель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный институт искусств и культуры».
 13. Тохтарь В.К., Тохтарь Л.А., Жилиева Н.В., Третьяков М.Ю. Оценка влияния различных составов органоминеральных удобрений на рост и развитие регенерантов *Aronia mitschurinii* А.К. Skvortsov & Maitul в процессе адаптации растений / Тохтарь В.К., Тохтарь Л.А., Жилиева Н.В., Третьяков М.Ю. // Передовое развитие современной науки: опыт, проблемы, прогнозы: сборник статей X Международной научно-практической конференции (12 января 2023 г.). — Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2023. С. 192–201.
 14. Горбань А.Н. Динамика корреляций между физиологическими параметрами и экологоэволюционный принцип полифакторности / А.Н. Горбань, В.Т. Манчук, Е.В. Петушкова // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. Л.: Гидрометеоздат., 1987, Т. 10, С. 187–198.
 15. Борисова А.Г. Род *Hissopus* L. / А.Г. Борисова // Флора СССР. — М.-Л.: Наука, 1954. — Т. 21. — С. 448–462.

© Тохтарь Людмила Анатольевна (ltokhtar@bsuedu.ru); Жилиева Наталья Васильевна (natali.zhilyaeva1979@mail.ru);

Черных Владислав Алексеевич (1249316@bsuedu.ru); Тохтарь Валерий Константинович (tokhtar@bsuedu.ru);

Третьяков Михаил Юрьевич (treyakovmiy@gmail.com); Бирюков Денис Валерьевич (biryukov@bsuedu.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»