

Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение
«Средняя общеобразовательная школа №1 с. Александровское»
Александровского района Томской области
Экологический клуб «РостОк»

Исследовательская работа в области естественно-научного направления
**«ВЫБОР ЛУЧШЕГО СУБСТРАТА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ
МЕТОДАМИ ГИДРОПОНИКИ»**

Работу выполнили:

Сосновская Валерия Вадимовна,
Глазырина Кристина Алексеевна,
обучающиеся 8 класса

Научный руководитель:

Жданова Ирина Гергардовна,
учитель биологии

с. Александровское, 2024 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. СУБСТРАТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГИДРОПОНИКЕ.....	5
1.1. Характеристика субстратов.....	5
1.2. Свойства, необходимые для субстратов, используемых в гидропонике	6
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СУБСТРАТОВ	8
2.1. Мировой опыт изучения физико-механических свойств субстратов	8
2.2. Субстраты, выбранные для проведения экспериментов	8
2.3. Исследование физико – механических свойств субстратов.....	9
2.4. Анализ результатов измерения.....	10
2.5. Проведение эксперимента по выращиванию растения на различных субстратах.....	11
2.5.1. Всхожесть салата Lollo Rossa Lettuce	12
2.5.2. Измерение признаков салата Lollo Rossa Lettuce.....	13
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	15
Список использованной литературы и источников	16
Приложение 1.....	17
Приложение 2.....	19

ВВЕДЕНИЕ

Гидропоника – способ выращивания растений на искусственных средах без почвы, в последнее десятилетие стал доступен любому человеку, желающему обеспечивать себя зеленой продукцией круглый год. Сити-фермерство становится популярной профессией, а гидропонные установки, позволяющие на практике изучать технологию выращивания, стали появляться во многих школах, так как их можно собрать самостоятельно даже из подручных материалов.

Согласно Прогнозу научно-технологического развития агропромышленного комплекса РФ на период до 2030 года в следующее десятилетие ожидается «взрывной» рост спроса на технологии «урбанизированного сельского хозяйства» – на технологические решения получения продовольственного сырья в замкнутой, контролируемой среде городов [1].

Одной из составляющей искусственной среды в гидропонике является выращивание на органическом или неорганическом субстрате, который существенно отличается и своей ролью, и составом от почвы. На начальном этапе развития технологии водной культуры в качестве субстрата использовали песок, гальку, мох и другие доступные средства. Эти субстраты не отвечали запросам сити-фермеров – они вымывались в раствор, плохо удерживали влагу, не обеспечивали доступ кислорода к корням, быстро загрязнялись. С развитием технологий появились новые легкие, пористые, нейтральные субстраты, обеспечивающие запросы растений.

Проблема в том, что сегодня таких субстратов становится все больше, как и споров, какой из субстратов лучше. Нет идеального субстрата, который кратно лучше остальных. Одни наполнители лучше удерживают влагу или обладают высокой пористостью, другие дешевле, но разрушаются при выращивании, третьи дороже, но их можно использовать многократно. Есть ли субстраты, которые удовлетворяют большинству требований при выращивании на гидропонике?

Гипотеза: возможно выбрать субстрат, удовлетворяющий максимуму требований, если провести подробное исследование всех его характеристик, необходимых для выращивания.

Цель исследования: выбрать субстрат, максимально удовлетворяющий требованиям к выращиванию растений методами гидропоники.

Задачи:

1. Изучить требования к физико-химическим свойствам субстратов, применяемым в гидропонике;
2. Выбрать показатели, которые возможно изучить в конкретных условиях;
3. Выбрать субстраты для изучения, подходящие под конкретные условия;
4. Провести серию экспериментов, позволяющий изучить характеристики субстратов. анализ полученных данных и расчет показателей;
5. Изучить влияние субстратов на рост салата и его биомассу;

6. Сформировать выводы о свойствах субстратов и их соответствии требованиям, применяемым в гидропонике. Выбрать лучший субстрат для использования.

Объект исследования: физико-механические свойства субстратов, используемые в гидропонике.

Предмет исследования: влияние свойств субстратов на рост растений.

Методы исследования:

1. Сбор информации о субстратах, применяемых в гидропонике, (изучение статей ученых, рекомендаций сити-фермеров).

2. Метод водной культуры Жерике (Методика выращивания растений с использованием технологий гидропоники).

3. Использование методики приготовления питательного раствора по Чеснокову В.А. и Базыриной Е.Н.

4. Эмпирические методы:

а. Проведение эксперимента - вегетационным методом исследований. Этот метод позволяет детально расчленить и выявить роль и значение отдельных факторов (в данном случае влияния раствора) на рост растений при регулируемых условиях (разработан Д. Н. Прянишниковым).

б. Наблюдение за процессами роста- ведение дневника наблюдений, куда вносятся данные по нескольким показателям роста с заданной периодичностью, а также дневника наблюдений за состоянием раствора и динамикой показателей ЕС, рН, ррМ.

в. Сравнительно-морфологический анализ результатов работы.

г. Измерение показателей при определении физико-механических свойств субстратов: соленость (кондуктометр TDS, ЕС, рН -метр), набор тестов для воды «Нилпа» (исследование на наличие аммиака, соли NaCl), влажность, температура.

5. Математические методы – статистический, метод визуализации данных (графики, формулы, функции, таблицы).

ГЛАВА 1. СУБСТРАТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГИДРОПОНИКЕ

1.1. Характеристика субстратов

Все субстраты делят на неорганические, с которых началась гидропоника и органические, которые стали применяться в этой технологии гораздо позже.

Впервые использовать субстраты для выращивания растений в питательном растворе предложил профессор Калифорнийского университета Жерике в 1929 году, который так же придумал название технологии «гидропоника». Этим субстратом был **песок**. Треть корней растения погружалась в раствор, а остальная часть была в песке и получала доступ к кислороду и раствору сразу. Метод получил признание, но имел существенный недостаток, так как вымывался в грунт [2].

Гравий. Коллеги Жерике, Эллис и Сваней в 1937 году предложили выращивать растения на гравийной культуре, провели большое количество экспериментов, доказывающих успешность этого метода. Данная технология была основной до 80-х годов и применялась так же в СССР в исследованиях Базириной, Чеснокова и многих других ученых союза [2].

Минеральная вата. В 80-х годах фирма «Grodan» предложила использовать строительную «минеральную вату» как субстрат для выращивания растений. Этот материал – смесь базальта, известняка и кокса, сплавленных при температуре 1600°, который скручивается в волокна и ему придается форма плит или кубиков. На сегодняшний день является одним из самых дешевых субстратов с высокой пористостью до 98% [3].

Перлит является субстратом вулканического происхождения. Это вулканическое стекло с высоким содержанием воды, который измельчают и нагревают до 1000°, при этом он вспучивается и увеличивает объем до 20 раз. Образуется легкий, белый, пористый материал фракцией от 1 до 5 мм [3].

Вермикулит получают из глинистых пород с влагосодержащими слоями. Технология изготовления сходна с перлитом. Имеет различные фракции от 1 мм до 1 см. Имеет блестящую, слоистую, очень легкую и пористую структуру.

Керамзит производят из глины, формируя из нее окатыши и обжигая в печи при 1200°, при этом газы расширяются и образуют в керамзите поры. Фракции бывают разные: 0,5-1 см, 2-3 см, 3-5 см. Для гидропоники лучше использовать окатыши неправильной формы, которые проводят больше воздуха.

Пеностекло производится методом вспенивания молотого стекла в печи при температуре более 1000 градусов. Основным производителем пеностекла для выращивания растений является компания «АйСиЭм Гласс Калуга». Субстрат производится под брендом GrowPlant с 2017 года. Является продуктом переработки битого стекла, легким и пористым субстратом, имеющим множество фракций от 0,8 до 30 см. В гидропонике используются мелкие формы [4].

Все перечисленные выше субстраты относятся к неорганическим.

Органические субстраты – это вещества растительного происхождения.

Торф в России производят из отложений мха сфагнума, растущего на болотах в кислой среде с низким содержанием кислорода. Для производства

субстрата используют торф верховых и переходных болот с меньшей степенью разложения, но более высокой кислотностью. Чтобы нейтрализовать, в него добавляют известь или доломитовую муку.

Кокосовое волокно представляет собой высушенные и измельченные оболочки кокосовых орехов. Для размягчения кокосовых волокон используют вымачивание в соли, что обогащает субстрат NaCl (хлоридом натрия), а это вредно для растений. Имеет высокую пористость и влагоудерживающую способность [5].

Встречаются единичные исследования по использованию в качестве субстратов кофейного жмыха, опилок, коры деревьев, шишек хвойных, но их эффективность не доказана.

1.2. Свойства, необходимые для субстратов, используемых в гидропонике

Субстрат должен соответствовать набору требований, некоторые из которых являются особенностью выращивания на гидропонике:

1. Нейтральность – субстрат должен иметь рН близко к нейтральному значению, рН=7, и электропроводность не выше 25-30 ppm. Он не должен влиять ни на изменение рН раствора, ни на электропроводность. Иначе он может помешать усвоению минеральных элементов растением.

2. Влагоемкость – это количество воды, которое данный объем субстрата способен впитать.

3. Влагоудерживающая способность – это сила, удерживающая воду в субстрате. Она определяется измерением обратной силы – всасывающей, которую корни должны приложить для впитывания воды. Вода не должна задерживаться в субстрате слишком долго, если корни не смогут ее поглотить, они завянут. Но и малая влагоудерживающая способность – это плохо. Молодые растения первые дни получают влагу только из субстрата, пока их корни не дорастут до раствора.

4. Пористость – рыхлость структуры, обеспечивающая свободный доступ кислорода к корням растения. Все субстраты для гидропоники обладают повышенной пористостью по сравнению с грунтом, примерно до 35% выше. Но в процессе выращивания некоторые типы субстрата слеживаются, прессуются и плохо пропускают воздух. Зависит от плотности субстрата.[6]

5. Отсутствие фитотоксичности – безопасность субстрата для растения. Он не должен содержать веществ, потенциально опасных для здоровья человека, а также накапливать эти вещества в себе во время использования. Если в субстрате содержатся химические соединения, они могут изменять состав раствора и влиять на поглощение элементов корнями. В основном, измеряется наличие хлорида натрия, которое неблагоприятно сказывается на росте растений и приводит к засоленности субстратов.

6. Сохранность субстрата во время выращивания. Все субстраты имеют различный гранулометрический состав. Чем меньше гранулы или волокна, тем больше опасность вымывания субстрата в раствор.

7. Возможность повторного использования субстрата на гидропонике. Удешевляет стоимость выращивания. Если субстрат легко промывается и очищается от мертвых остатков, то его можно использовать несколько раз [9].

8. Стоимость субстрата. Также имеет немаловажное значение, так как позволяет сэкономить. Гидропоника – довольно дорогостоящий способ выращивания, по сравнению с почвой, хотя и имеет ряд неоспоримых преимуществ. Удешевление выращивания без ущерба для урожайности – это цель любого сити-фермера.

Кроме того, в исследовании учитывается такой показатель, как всхожесть семян и органолептические показатели. Они имеют косвенное значение, поскольку зависят не только от качества субстрата, но и от других факторов. Например, всхожесть семян часто зависит от их качества, а вкусовые показатели зависят от интенсивности освещения, продолжительности досветки, температуры и состава раствора. Но так как эксперимент имеет три повторности, одинаковые условия и состав раствора, то возможно выявление определенной закономерности.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СУБСТРАТОВ

2.1. Мировой опыт изучения физико-механических свойств субстратов

Физико-механические свойства субстратов изучались многими учеными и сити-фермерами. Уильям Тексье – основатель органической гидропоники, считал керамзит одним из лучших нейтральных субстратов, обеспечивающим идеальный дренаж и возможность повторного использования. Минусом считал склонность керамзита к увеличению рН раствора [6].

Доктор сельскохозяйственных наук, академик Евгений Иванович Ермаков в 1968 году, проводя исследования субстратов пришел к выводу, что керамзит, вермикулит и перлит подвержены медленному разрушению под действием корневых выделений растений, а это затрудняет их повторное использование. Согласно его исследованиям, наибольшая водоудерживающая способность (64%) у вермикулита. Так же было установлено, что самые крупные и самые мелкие фракции субстратов, имеют плохую влагоудерживающую способность [7].

Это подтверждает эксперимент, проведенный в 2019 году сотрудниками «Аптекарского огорода» филиала ботанического сада МГУ. Исследования разных фракций пеностекла показали, что средняя фракция (10-20 мм) удерживает больше влаги и дольше, чем мелкая (0,7-1 мм) или крупная (20-30 мм). Так же было установлено, что наибольшую влагоемкость имеют кокосовое волокно (79,41%) и вермикулит (71, 63%), наименьшую керамзит (12,02%). Быстрее всех теряет влагу вермикулит, и практически не теряет ее пеностекло [8].

Подобные исследования в 2017 году проводила компания по производству пеностекла «АйСиЭм Гласс Калуга». Их данные совпадают с исследованием сотрудников «Аптекарского огорода». Перлит и GrowPlant обладают примерно одинаковой средней влагоемкостью [4].

В данной работе так же проведены исследования физико-химических свойств субстратов, полученные данные сопоставлены с вышеприведенными показателями.

2.2. Субстраты, выбранные для проведения экспериментов

Для эксперимента были приготовлены 6 гидропонных установок и выбраны 6 субстратов: керамзит, вермикулит, перлит, торф, кокосовое волокно и вермикулит, как наиболее популярные наполнители, используемые в гидропонике.

В наличие так же была «минеральная вата» в виде кубиков, но ее решено было не использовать. В ходе предыдущих исследований и работы над другими проектами объединения этот субстрат показал себя с наихудшей стороны: ссыхается сверху, переувлажняется в нижней части, быстро заселяется зелеными водорослями, разрушается и приходит в негодность после первого использования. «Минеральная вата» больше подходит для выращивания микрозелени, то есть для очень короткого срока вегетации.

2.3. Исследование физико–механических свойств субстратов

В ходе эксперимента измерялись те показатели, которые не требуют сложного дорогостоящего оборудования. Полученные данные отражены в **таблице 1**. Подробно методика измерений, обоснование выбранных показателей и формулы, по которым производился расчет приведены в *приложении 1*.

Таблица 1. Сравнение основных свойств субстратов

Субстрат	Торф	Пеност екло	Керамзи т	Кокос	Перлит	Верми кулит
Вес сухого субстрата в стаканчике, г*	13	17	31	18	7	18
Вес влажного субстрата в стаканчике до начала эксперимента, г	75	39	49	58	38	52
Вес влажного субстрата в стаканчике через 10 дней эксперимента, г	36	33	32	28	23	30
Влагоемкость перед экспериментом, г	62	22	18	40	31	34
Влагоемкость субстрата через 10 дней от начала эксперимента, г	23	16	1	10	16	12
Влагоемкость субстрата перед экспериментом, %	477	130	58	222	442	189
Влагоемкость субстрата через 10 дней от начала эксперимента, % -способность к водоудержанию	177	94	3	55	228	67
Потеря воды за 10 дней, %	63	28	95	75	48	65
Плотность субстрата, г/см ³	0,9	0,25	0,5	0,73	0,1	0,1
Фитотоксичность (наличие NaCl)	Отс-ет	Отс-ет	Отс-ет	2 мг/л	Отс-ет	Отс-ет
Фитотоксичность (наличие аммиака)	Отс-ет	Отс-ет	Отс-ет	Отс-ет	Отс-ет	Отс-ет
Кислотность субстрата в дистиллированной воде, рН**КОНТРОЛЬ	3,7	8	7	5,5	7,2	9,2
Кислотность питательного раствора для растений	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Кислотность питательного раствора для растений через 10 дней от начала эксп-та	4,5	6,4	5,2	5,0	5,2	5,3
Кислотность субстрата в дистиллированной воде через 10 дней, рН**КОНТРОЛЬ	4,2	7,0	6,4	4,8	6,1	6,3
Электропроводность/ концентрация солей субстрата в дистиллированной воде, ЕС/ TDS ** КОНТРОЛЬ	800 /407	32 /16,9	300 /150	1800 /900	78 /39	60 /30
Электропроводность/ концентрация солей субстрата в	1116/ 557	608/ 303	1430/ 713	1244/ 622	158/ 78	216/ 108

дистиллированной воде через 10 дней, ЕС/ TDS ** КОНТРОЛЬ						
Электропроводность/концентрация солей питательного раствора ЕС/ TDS	1900/968	1900/968	1900/968	1900/968	1900/968	1900/968
Электропроводность/концентрация солей питательного раствора для растений через 10 дней от начала эксп-та, ЕС/ TDS **	2080/1040	1880/942	1980/1000	2040/1020	1780/890	1980/1000
Сохранность субстрата во время выращивания	Часть субстрата вымывается в воду	Единичные крошки	Единичные крошки	Часть субстрата вымывается в воду	Единичные белые крупинки	Небольшой осадок в виде блестящих гранул
Возможность повторного использования субстрата	-	+	+	-	+	+
Стоимость субстрата за 1 кг*** (средняя)	36-40	95-100	35-40	25-35	40-43	65-70

* – масса стаканчика 2г, вычиталась при расчете.

** – контрольные показатели дистиллированной воды: pH = 6,5, ЕС = 24мS/см, TDS = 12 ppm.

*** – цена субстрата на маркетплейсах на 01.08.2024 г.

2.4. Анализ результатов измерения

Анализ результатов измерения показывает. Что наибольшей влагоемкостью обладает **торф** (447%) и **перлит** (442%), наименьшей **керамзит** (58%). Но в первые 10 дней роста субстрат не контактировал с раствором (раствор находился ниже уровня дна стаканчика на 1 см), хотя находился во влажной среде за счет герметичности емкости и работы аэрационных камней. Так же молодые ростки первые 10 дней опрыскивались сверху, пока их корни не достигли раствора. Поэтому способность сохранить влагу субстратом имеет более важное значение, чем высокая влагоемкость. Измерения показали, что наименьшие потери воды у **пеностекла** (28%) и **перлита** (48%). Самые высокие потери у **керамзита** (95%), что может губительно сказаться на растениях.

Измерения кислотности и электропроводности субстрата показывает, что ни один субстрат не является абсолютно нейтральным, как заявляют производители. Меньше всего посторонних соединений содержат **пеностекло**, **вермикулит** и **перлит**. Измерения показывают, что пеностекло, керамзит, вермикулит и перлит изменяют концентрацию воды в сторону щелочности, а торф и кокосовое волокно подкисляют воду (pH). Питательный раствор для растений готовят уже с заданной концентрацией pH, ЕС и TDS. Поэтому любые незапланированные изменения показателей могут отрицательно сказаться на росте. Сильнее всего изменяют первоначальные показатели **кокос** (pH = 5,5, ЕС = 1800мS/см, TDS = 900 ppm) и **торф** (pH = 3,7, ЕС = 800мS/см, TDS = 407 ppm).

Торф и кокос содержат набор химических соединений, название которых производитель не указал, поэтому непонятно, как эти вещества будут взаимодействовать с компонентами раствора.

Все субстраты, кроме **кокосового волокна**, не содержат опасных фитотоксичных веществ. Он содержит небольшое количество NaCl, которую используют при изготовлении субстрата.

Нужно отметить, что кокосовое волокно и торф во время выращивания частично вымываются в раствор, а перлит сильно крошится. Это не влияет на рост растения, но **торф** и **кокос** – органические вещества, а значит, попав в воду, волокна подвергаются гниению и развитию вредных бактерий, которые так же поражают корневую систему здоровых растений.

Для вторичного использования лучше всего подходят **керамзит, вермикулит, пеностекло и перлит**. Для этого их нужно стряхнуть с корней выросшего растения, промыть в кипятке с обеззараживающим средством и высушить. В торфе и кокосовом волокне корни застревают и гниют, перлит быстро рассыпается и сильно поражается зелеными водорослями.

Итак, учитывая все данные лучшими физико-химическими свойствами обладает **ПЕРЛИТ**: имеет высокую влагоемкость, хорошую влагоудерживающую способность, очень пористый и легкий, практически не изменяет состав питательного раствора в течение времени. Его можно использовать вторично, и он имеет невысокую стоимость. На втором месте находится пеностекло, но этот субстрат имеет довольно высокую стоимость.

2.5. Проведение эксперимента по выращиванию растения на различных субстратах

В ходе эксперимента было проведено три повтора по выращиванию салата Lollo Rossa Lettuce на шести самодельных гидропонных установках технологии полного погружения, с принудительной аэрацией.

Обоснование выбора объекта выращивания:

1. зарекомендованный сорт салата, опробованный ранее;
2. обладает хорошей всхожестью и быстрым ростом;
3. нетребователен к условиям выращивания.
4. прост в исследовании -обладает наглядностью по состоянию, размерам и форме листьев.

Условия, созданные для выращивания, сохранялись одинаковыми на всем протяжении эксперимента.

Освещение: 4 фитолампы, равноудаленные от растений. Световой день составлял 16 часов.

Раствор: рассчитан на калькуляторе растворов, доступен по ссылке (<https://ponics.online/link/lolla/8>). Расчет на 10 литров воды, очищенной методом обратного осмоса:

1. Акварин хвойный 5г
2. Кальциевая селитра 8г
3. Амиачная селитра 1г
4. Сульфат магния 5г

5. Комплекс микроэлементов «Аквамикс» - 0,2г

Расчетный ЕС=1900 мS|cm, TDS = 968 ppm.

Соотношение элементов в растворе рассчитывалось по данным Базыриной, Чеснокова.[2]

Раствор в каждом поддоне постоянно аэрировался с помощью наружного компрессора.

Влажность: поддерживалась опрыскиванием и вентиляцией воздуха в пределах 55-65%.

Температура воздуха: зависела от температуры в помещении и не создавалась искусственно. Наблюдения за изменениями показали, что колебания температуры не были значительными в течение всего сезона и составляли от 22 до 26 градусов. Поэтому данный фактор не мог существенно повлиять на отличия между повторами.

Температура воды: соответствовала рекомендованной, 22-24°.

Таблица 2. Данные по проведению экспериментов

Данные	1 эксперимент	2 эксперимент	3 эксперимент
Посадка	10.05	20.06	09.08
Массовые всходы	14.05	24.06	13.08
Сбор и анализ урожая	12.06	23.07	Ожидается 12.09
Продолжительность выращивания, дни	34	34	34

Исследуемые показатели:

1. Всхожесть
2. Биомасса свежесрезанных растений
3. Биомасса сухих растений
4. Количество воды, поглощенной растением
5. Средняя масса одного куста салата
6. Средний размер листьев растений

2.5.1. Всхожесть салата Lollo Rossa Lettuce

На каждой установке находилось по 12 стаканчиков, в каждый из которых было высажено по 3 семени салата. Всего 36 семян на 1 установке. На 4 день после высадки подсчитывался процент всхожести семян на каждом субстрате. По таблице 3 видно, что лучшую всхожесть показывает салат, растущий на пеностекле и вермикулите. Лидер по физико-механическим свойствам перлит, отстает в показателях всхожести. А на последнем месте торф. Скорее всего это связано с перенасыщенностью его влагой в первые дни, что мешает доступу воздуха к семенам.

Таблица 3. Всхожесть семян на различных субстратах, %

Субстрат	Торф	Пеностекло	Керамзит	Кокос	Перлит	Вермикулит
1 эксперимент	33	89	72	69	64	81
2 эксперимент	54	88	80	76	86	82
3 эксперимент	56	86	83	92	72	92
Средний %	48	88	78	79	74	85

2.5.2. Измерение признаков салата Lollo Rossa Lettuce

В каждом эксперименте салат выращивался 34 дня и при этом достигал достаточной массы и зрелости. Это особенность выращивания на гидропонике, поскольку срок выращивания, заявленный производителем семян составляет 55 дней.

Листья салата были срезаны и составлены вариационные ряды в порядке убывания длины, показывающие повторяемость листьев определенной длины в выборке (приложение 1).

Таблица 4. Среднее количество листьев на одном кусте салата на различных субстратах, штук.

Субстрат	Торф	Пеностекло	Керамзит	Кокос	Перлит	Вермикулит
Lollo Rossa Lettuce	9	10	12	13	15	9

По таблице 4 видно, что наибольшее количество листьев у салата, выросших на перлите и кокосовом волокне. Несмотря на более низкий процент всхожести и меньшее количество растений салата, его листья получили больше места и смогли обогнать «конкурентов» по количеству и размерам.

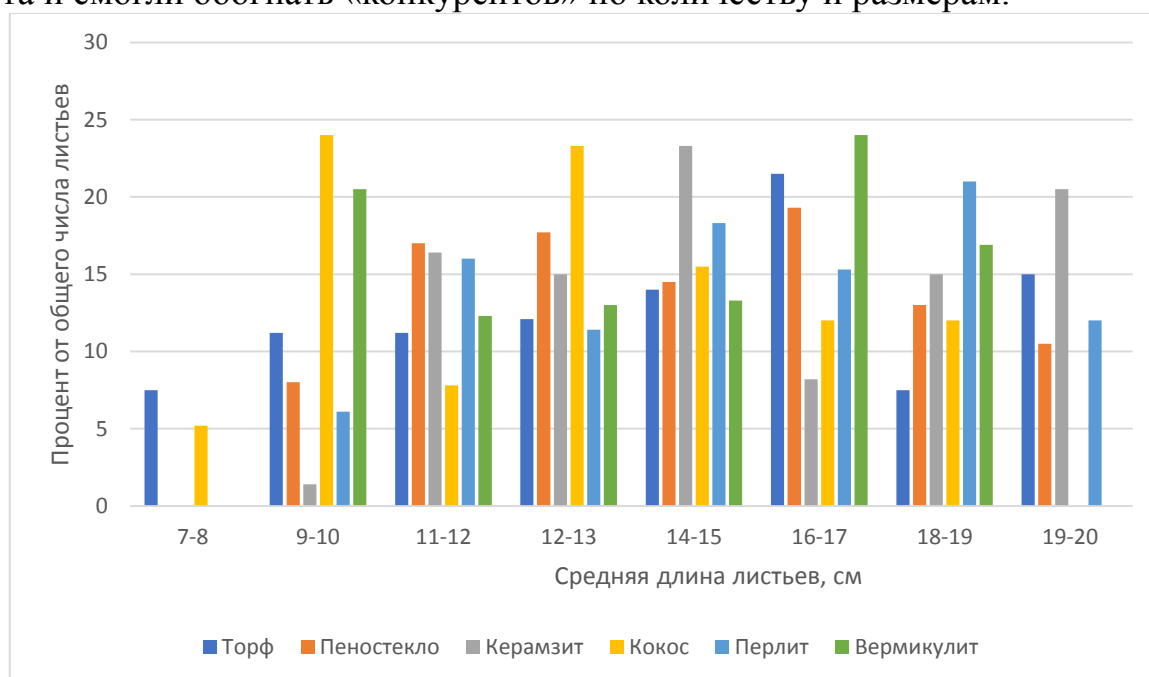


Рисунок 1 – Процентное соотношение листьев разной длины на субстратах

Таблица 5. Средняя биомасса одного куста салата на различных субстратах, грамм.

Вид биомассы	Торф	Пеностекло	Керамзит	Кокос	Перлит	Вермикулит
Lollo Rossa Lettuce свежий,г	7,2	8,8	9,3	4,9	7,2	4,1
Lollo Rossa Lettuce сухой,г	0,46	0,6	0,6	0,32	0,52	0,3

Суммировав количество листьев и рассчитав процент встречаемости каждой группы листьев по длине, были сделаны следующие выводы:

1. Салат с самыми мелкими листьями (7-8 см) вырос на субстратах с торфом и кокосом (рисунок 1);

2. Салат с самыми крупными листьями вырос на субстратах с керамзитом и опять же, с торфом (рисунок 1);

3. Листья со средней длиной преобладают на субстратах с кокосом и керамзитом (рисунок 1);

4. Самую большую среднюю массу куста имеет салат, выросший на керамзите – 9,3г., самую маленькую – на вермикулите 4,1г.

5. На кусте салата, выросшем на перлите, в среднем образуется 15 листьев, которые равномерно распределились по величине от мелких до крупных – это максимальный результат, тогда как на субстратах с торфом и вермикулитом только по 9 листьев.

6. Несмотря на невысокую среднюю массу одного куста -7,2г., перлит лидирует по сухой массе растения – 0,52г. Это говорит о том, что салат, выросший на перлите богат макро и микроэлементами, которые вошли в состав сухой массы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили изучить не только физико-механические свойства субстратов, но и проверить объективность полученных данных на практике при выращивании растений. Использование в качестве объекта выращивания салата Lollo Rossa Lettuce себя оправдало, поскольку позволило получить быстрые и наглядные результаты.

В результате исследования было выявлено, что лучшим субстратом по сумме показателей является перлит. Так же этот субстрат является лидером по нейтральному поведению по отношению к раствору и влагоудерживающей способности. Пеностекло так же является прекрасным субстратом по всем показателям, но его главный недостаток – высокая стоимость, которая делает невыгодным выращивание с экономической точки зрения.

Самыми плохими показателями обладает торф, который в значительной мере влияет на изменение состава и свойств питательного раствора для растений, что в гидропонике может негативно отразиться на их росте и развитии. Керамзит, из-за того, что хуже всех удерживает воду, лучше не использовать для проращивания семян, либо регулярно опрыскивать субстрат, чтобы не лишиться всходов.

Все остальные субстраты в равной степени имеют свои плюсы и минусы и подходят к использованию с учетом их особенностей. Полученные показатели не противоречат исследованиям, проведенным учеными и специалистами в сфере гидропонии, описанным в главе 1, пункт 2.1.

В дальнейшем исследование будет направлено на поиски идеальной комбинации, составленной из смеси субстратов, обладающих наилучшими показателями.

Список использованной литературы и источников

1. Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса РФ на период до 2030 года/Минсельхоз России; Нац. исслед. ун-т «ВШЭ». М.: НИУ ВШЭ, 2017. 140с.
2. Чесноков В.А. Базырина Е.Н. Выращивание растений без почвы. / В. А. Чесноков, Е. Н. Базырина и др. – Л.: Изд-во Лен. ун-та, 1960. стр.11-12
3. Тексье У. Гидропоника для всех / У. Тексье; пер. с англ. А. Оганян. – Изд-во Mama Edition, 2013. стр. 68-80
4. GrowPlant–универсальный субстрат//официальный сайт компании «АйСиЭм Гласс Калуга». – [Б.м.], 2011-2024. – URL: <https://grow-plant.com/>
5. Уроки начинающего//Гидроном. – [Б.м.], 2010. – URL: <https://gidronom.ru/uroki/uroki-nachinaiushchego/63-substraty-primenyaemye-v-gidroponike.html>
6. Характеристики субстратов для гидропоники//LePlants, – [Б.м.], 2024. – URL: <https://leplants.ru/tsvetovodstvo/harakteristiki-substratov-dlya-gidroponiki/>
7. Алиев Э.А. Выращивание овощей в гидропонных теплицах. / Э.А. Алиев. -К.: Изд-во «Урожай», 1985. стр. 12-15
8. «Аптекарский огород» филиал ботанического сада МГУ, 2019 – URL: <https://rutube.ru/video/09f30cc2b6332db18fb03d10647574b0/>
9. Материалы лекций проекта подготовки наставников научно-исследовательских проектов фонда «Образования» и некоммерческого фонда Иннопрактика по направлению Биоинженерные технологии. – URL: <https://docs.google.com/document/d/11X6K5i8GnQSLjUTAEaHfoRBBZ4Eu7Rsa6GW3icpY6RI/edit?usp=sharing>

Основные показатели, используемые для измерения физико-механических свойств субстрата и обоснование их выбора

1. Измерение влагоемкости субстрата.

Для начала измеряется вес сухого субстрата, без учета веса стаканчика (2г). Затем измеряется вес стаканчика, напитанного водой.

Влагоемкость – максимальное количество воды (раствора), которую способен вместить в себя субстрат. Вычисляется по формуле $W_n = \frac{m_w - m_0}{m_0} * 100\%$

Где m_w – масса субстрата, максимально насыщенного водой;

m_0 – масса сухого субстрата.

2. Измерение влагоудерживающей способности.

В гидропонике больше важна влагоудерживающая способность субстрата, пока корни не попали в раствор, они получают воду только из стаканчика. Стаканчики находятся в поддоне в условиях 100% влажности, поэтому могут впитывать воду из влажного воздуха, а могут и терять. Слишком влажный субстрат ведет к загниванию семян и корней проростков, слишком сухой к гибели.

Влагоудержание также зависит от гранулометрического состава субстрата и его массы. Наименьший процент потери воды для субстрата является лучшим для роста растений.

3. Измерение пористости.

Пористость зависит от влагоемкости и плотности субстрата, которая вычисляется по формуле,

$$p = \frac{m_w}{V \left(1 + \frac{W}{100}\right)}$$

где m_w – масса влажного субстрата,

V – объем, занимаемой почвой $V = \frac{\pi * d^2}{4} * h$, объем гидропонного стаканчика = 75,36 см³.

W – влажность субстрата в %.

Пористость (воздухопроницаемость) – способность субстрата пропускать через себя воздух. Способствует аэрации корней на раннем этапе развития, когда корни еще не погружены в раствор. Чем больше влаги сохраняет субстрат в первые дни роста растения, тем меньше кислорода остается в нем.

4. Проведение анализа фитотоксичности субстрата.

Анализ фитотоксичности субстрата проводился с помощью системы тестов «Нилпа» для воды. Измерялось наличие аммиака и соли в субстрате. В природе аммиак при помощи бактерий разлагается до мочевины, а потом нитритов и нитратов, азот из которых усваивается растениями. Но свежие субстраты бактерий не содержат. Аммиак в субстрате является основанием и может повышать pH раствора, что мешает корням усваивать минералы. Наличие солей (NaCl) в растворе является губительным для растений, поскольку нарушает

приводит к нарушению клеточных стенок. Натрий мешает усвоению кальция растениями.

5. Измерение кислотности и электропроводности субстрата.

Растения предпочитают расти в слабо-кислой среде при pH от 5 до 6,8. Кислотность (pH) субстрата измерялась двумя способами: с помощью жидкого индикатора «Нилпа» и с помощью pH метра, чтобы исключить ошибки в показаниях.

Электропроводность (ЕС) и концентрация солей (TDS) измерялась кондуктометром.

Контрольные показатели дистиллированной воды: pH = 6,5, ЕС = 24 мS/см, TDS = 12 ppm.

6. Сохранность субстрата во время выращивания изучалась методом наблюдения. Было отмечено, что примерно одна пятая часть кокосового волокна и торфа из каждого стаканчика вымывается в раствор уже в первые дни нахождения стаканчиков на установке, в меньшей степени высыпается в воду перлит и вермикулит, единично гранулы пеностекла и керамзита. Учитывая, что торф и кокос являются органическими субстратами, их присутствие в растворе приводит к развитию микрофлоры, которая может негативно сказаться на состоянии корней растения. Поэтому раствор нужно чаще менять, а это лишние затраты.

7. Возможность повторного использования субстрата в целях его экономии проводилась методами наблюдения и экспериментальным путем.

Составление вариационных рядов салата Lollo Rossa Lettuce



Рисунок 1 – Вариационный ряд листьев салата Lollo Rossa, выросших на торфе.



Рисунок 2 – Вариационный ряд листьев салата Lollo Rossa, выросших на пеностекле.



Рисунок 3 – Вариационный ряд листьев салата Lollo Rossa, выросших на керамзите.



Рисунок 4 – Вариационный ряд листьев салата Lollo Rossa, выросших на перлите.



Рисунок 5 – Вариационный ряд листьев салата Lollo Rossa, выросших на вермикулите.

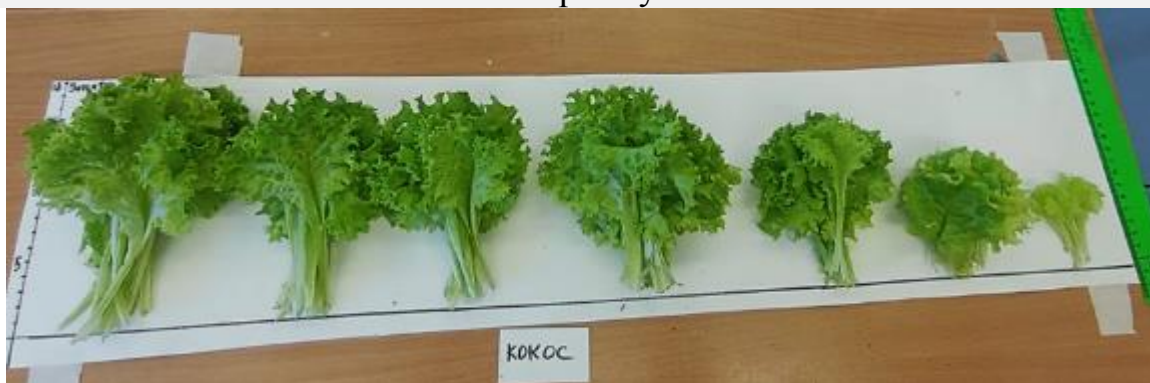


Рисунок 6 – Вариационный ряд листьев салата Lollo Rossa, выросших на кокосовом волокне.

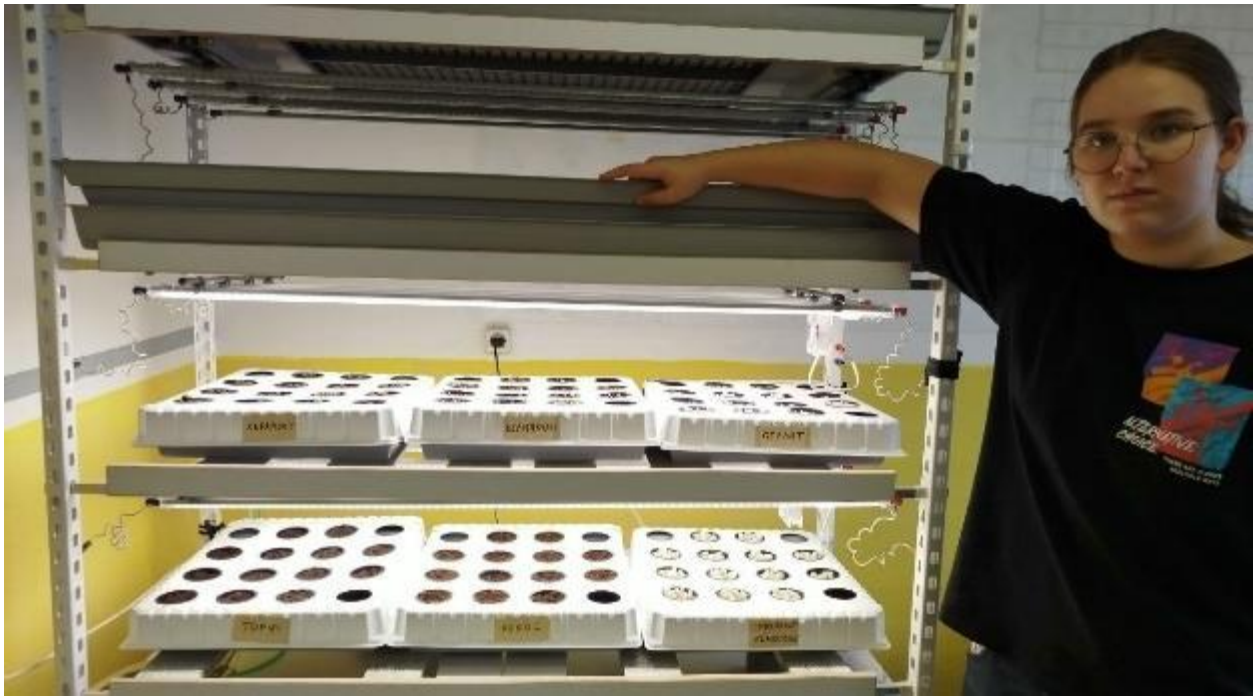


Рисунок 7 – Распределение салата на установке