

МБОУ «Школа №6» г. Липецка имени В. Шавкова
Научно-технический конкурс «Открытый мир. Старт в науку»

Использование микоризы в качестве биологического стимулятора растений на примере декабриста рода шлюмбергера

Автор: Березнева Анна Александровна, обучающаяся 10 класса МБОУ
«Школа №6» г. Липецка имени В. Шавкова

Научный руководитель: учитель биологии Михайлычева Татьяна
Владимировна

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	6
1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	7
1.1. Понятие микоризы.....	7
1.2. Симбиоз микоризы	7
1.3. Применение микоризы в сельском хозяйстве	9
1.3.1 Поглощение фосфора.....	10
1.3.2 Поглощение азота.....	10
1.3.3 Поглощение воды	11
1.3.4 Улучшение структуры почвы.....	12
1.4. Микориза и устойчивое сельское хозяйство	13
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	16
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	25
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	27

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с середины прошлого века производительность сельского хозяйства неуклонно росла в регионах с умеренным климатом главным образом благодаря использованию сортов с улучшенными характеристиками, удобрениям и пестицидам. Тем не менее в последнее время рост урожайности сельскохозяйственных культур приостановился в основном по причине деградации земель. В будущем для удовлетворения увеличивающегося потребительского спроса текущее производство продовольствия должно демонстрировать значительный рост. Из-за увеличения населения в мире, нехватки продовольствия в развивающихся странах, изменения категории земель, а также конкуренции между производителями продовольствия возникает необходимость повышения урожая. При этом способ повышения урожайности, доступный производителям, приводит к росту производственных затрат и увеличению количества операций в поле, а состояние окружающей среды из-за использования химических средств все больше ухудшается и иногда имеет необратимые последствия. Кроме того, истощение почвы ослабило системы земледелия, сделав их более зависимыми от внесения химикатов.

Высокий спрос на продовольствие в развивающихся странах приводит к увеличению активного использования удобрений. Использование азотных и фосфорных удобрений за последние годы увеличилось в несколько раз. Стоит отметить, что неправильное, а также чрезмерное или нерациональное применение удобрений становится прямой причиной процессов минерализации и улетучивания органических веществ, выщелачивания, подкисления и денитрификации почв. Производство и транспортировка удобрений также становятся косвенной причиной повышения концентрации углекислого газа и азота в воздухе, которые в конечном итоге попадают в наземные экосистемы.

Азот и фосфор, необходимые для роста растений, наиболее слабо представлены в почве. Даже после внесения удобрений растениям приходится конкурировать с почвенными микроорганизмами за легкодоступный растворимый азот. Фосфор же в кислых почвах вступает в реакцию с железом или алюминием, тогда как в щелочных почвах образует кальций-фосфаты. То есть, даже после значительного внесения фосфорных удобрений может наблюдаться дефицит фосфора.

Из всего вышеперечисленного становится ясно, что существует острая потребность в применении устойчивых методов ведения сельского хозяйства на глобальном уровне, т.е. необходимо использовать ресурсный потенциал земель, но при этом обеспечить экологическую безопасность и постоянное возобновление плодородия экосистемы. Хорошим решением может стать использование микроорганизмов, которые позволяют более эффективно использовать питательные вещества или повысят их доступность. По этой причине необходимо тщательно ознакомиться с процессами и факторами, регулирующими доступность питательных веществ почвы для растений. Одним из перспективных методов органического земледелия, которое подразумевает отказ от использования синтетических удобрений, регуляторов роста растений, пестицидов, добавок, является использование микоризных грибов, чему и посвящена моя работа.

В качестве опытного растения был выбран декабрист (лат. *Schlumbergera* LEM. (1858)) – представитель семейства кактусовых (лат. *Cactaceae* JUSS. (1789), nom. cons.). Это обильно ветвящиеся кустарнички. Побеги растения плоские, состоящие из отдельных сегментов, с зазубринами по краям. Колючки обычно отсутствуют. Своё название растение получило в честь французского коллекционера кактусов Фредерика Шлюмбергера (1823-1893). Этот кактус называют декабристом из-за сроков цветения (ноябрь, декабрь, январь). Родиной декабриста является юго-восток Бразилии. Данное растение было выбрано в качестве подопытного за его свойство достаточно быстро укореняться.

Гипотеза: Предполагается, что растения, в почву которых будет добавлена микориза из спор лесных грибов и микориза, купленная в магазине, дадут наилучшие результаты: будут активнее расти и обильнее цвести. Группа растений, в землю которой не будут внесены какие-либо добавки, дадут самые плохие результаты, а растения с внесенными в почву химическим удобрением дадут промежуточные результаты.

Цель работы: Определить влияние микоризы на рост и развитие растения на примере декабриста.

Задачи:

- Изучить и проанализировать теоретический материал;
- Подготовить растения и оборудование к эксперименту;
- Провести эксперимент;
- Сделать выводы и определить, как микориза влияет на рост и развитие растения.

Объекты для исследования: 20 побегов декабриста.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методы исследования:

- Анализ литературных источников, интернет-сайтов.
- Проведение эксперимента
- Наблюдение за ходом эксперимента

Материалы и оборудование:

- Горшки и поддоны диаметром 13 см
- Железная ложка для перемешивания раствора с удобрением
- Минзурка для разведения удобрения
- Тара для замачивания грибов
- Споры грибы (маслята и подберезовики)
- Биопрепарат «Кормилица Микориза» (производитель – ОЖЗ Кузнецова)
и удобрение «Агрикола» (производитель – «Техноэкспорт»)
- Прозрачные пакеты для создания тепличных условий

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Понятие микоризы

XX век был отмечен значительным ростом сельскохозяйственного производства главным образом благодаря техническому прогрессу, использованию пестицидов, азот- и фосфорсодержащих удобрений, а также развитию селекции и генетики растений. В естественных условиях ризосфера насчитывает несметное количество микроорганизмов, способствующих развитию растительного покрова, усвоению питательных веществ, формированию устойчивости к стрессу и болезням, поглощению углерода и т.д. К подобным микроорганизмам относятся микоризные грибы, бактерии, актиномицеты и прочие, которые растворяют питательные вещества и способствуют их поглощению корнями растений.

Термин «микориза» был впервые введен исследователем Альбертом Бернхардом Франком в 1885 г., и включает в себя все симбиотические ассоциации почвенных грибов с корнями или ризоидами высших растений. Исследователь Майкл Аллен в 2003 г. описал взаимодействие грибов и растений с более нейтральной или микробиологической точки зрения, заявив, что «микориза – это мутуалистический симбиоз между растением и грибом, локализованный в корне или корнеподобной структуре, в котором передача энергетически богатых веществ осуществляется преимущественно от растения к грибу, а неорганических ресурсов – от гриба к растению». Группа грибов и растений, которые участвуют в симбиозе, определяет тип образуемой ими микоризы. Микориза делится на три типа: эндотрофная, эктотрофная и эктоэндотрофная. Особый интерес представляет эндотрофная микориза. В последнее время были достигнуты значительные успехи в понимании физиологических процессов и таксономии таких грибов. Их активность в сельскохозяйственных экосистемах была подтверждена документально.

1.2. Симбиоз микоризы

Микоризные грибы являются важным компонентом сообщества почвенных микроорганизмов, играя ключевую роль в общем росте и развитии

растений. Они образуют симбиотические отношения с более чем 80% видов наземных растений. Микориза – это древняя и повсеместно распространенная форма симбиоза между мицелием грибов и корнями высших растений, которая существует более 460 миллионов лет. За годы эволюции такое взаимодействие стало настолько сильным, что сейчас растения и грибы жизненно необходимы друг другу. Корни дают грибам аминокислоты, гормоны и простые углеводы, а взамен получают воду, макро- и микроэлементы. Корни самого растения гораздо меньше, чем нити микоризы, контактирующие с ними, а значит, благодаря этому симбиозу растение может получать намного больше питательных веществ и лучше себя чувствовать. Значение микоризы особенно велико на бедных почвах.

Микоризу образуют как высшие, так и низшие грибы, причем и те, и другие способны выделять белок гломалин, который влияет на плодородие почвы. Гломалин – это гликопротеин, который вырабатывается гифами микоризных грибов в почве. Предполагается, что гломалин улучшает стабильность воды в почве и уменьшает почвенную эрозию. Однако механизм данного явления не исследован.

Основной характерной чертой симбиоза является потребление растениями-хозяевами фосфора (Р) и активное поглощения воды через гифальные сети грибов. В результате подобного симбиоза формируются физиологические и молекулярные сигналы на субклеточном уровне, меняется структура растительного сообщества и повышается устойчивость растений к различным видам абиотического и биотического стресса. Микоризные сети связывают растения одного и разных видов в почве, осуществляют передачу ресурсов между ними и выделяют сигнальные молекулы белков, отвечающих за защиту растений, липохитоолигосахариды и стриголактоны.

Неспособны к образованию микоризы только опята, навозники, шампиньоны, вешенки и зонтики.

Образование микоризы – естественный природный процесс. Грибы образуют микоризу с растениями непрерывно, но для этого нужно, чтобы их споры попали в почву.

Таблица 1.

Прямое и косвенное влияние микоризных грибов на урожайность культур, выращиваемых в системах органического земледелия.

<i>Прямое влияние на урожайность</i>	<i>Косвенное влияние</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Стимуляция продуктивности различных культур • Поступление биогенных веществ (P, N, Cu, Fe, Zn) • Быстрое появление всходов • Формирование устойчивости к засухе • Формирование устойчивости к воздействию тяжелых металлов 	<ul style="list-style-type: none"> • Подавление роста сорняков • Стимуляция фиксации азота бобовыми (зеленое удобрение) • Стимуляция образования почвенных агрегатов и улучшения структуры почвы • Подавление некоторых почвенных патогенов • Стимуляция биологической активности почвы • Более активное депонирование углерода в почве • Сокращение вымывания питательных веществ

1.3. Применение микоризы в сельском хозяйстве

Взаимодействуя с корневой системой растений, микроорганизмы, обитающие в ризосфере, синтезируют питательные вещества, которые способствуют развитию культур. Одновременно микроорганизмы защищают корни растений от вредных химических веществ, подавляя или ослабляя степень их воздействия в ризосфере. Симбиотические ассоциации определенных групп грибов с корневой системой растений повышают доступность незаменимых, в первую очередь, малоподвижных элементов (фосфор, медь, цинк и проч.) в почве, тем самым способствуя их поглощению,

что в иных условиях было бы затруднительно ввиду их низкой подвижности. Кроме того, подобное взаимодействие позволяет культурам прижиться даже в малоплодородных почвах, поскольку микроорганизмы способствуют поглощению незаменимых питательных веществ, среди которых есть как микро-, так и макроэлементы. Согласно исследованиям, применение микоризных грибов позволяет снижать дозировку используемых удобрений (в частности, фосфатных).

1.3.1 Поглощение фосфора

Фосфор является жизненно важным незаменимым макроэлементом. Он выполняет ключевую функцию в биосистеме в целом, поскольку участвует во всех процессах передачи энергии в виде АТФ. Кроме того, фосфор является незаменимым компонентом различных молекулярных соединений, например, нуклеотидов, фосфолипидов и фосфатов сахаров. Одним из существенных преимуществ применения микоризных грибов является повышение доступности фосфора для культур. Обычный механизм поглощения фосфора может быть описан следующим образом: гифы микоризных грибов поглощают фосфор из ризосферы, далее фосфор перемещается вдоль гиф внутрь мицелия (к коре корня), фосфор поступает на участки коры корня.

В корнях, колонизированных микоризными грибами, зона поглощения фосфора, заполненная гифами, имеет большую протяженность, чем зона, в которой расположены неколонизированные корни и корневые волоски. В недавнем исследовании на примере некоторых семейств сельскохозяйственных культур было обнаружено, что микоризные грибы значительно улучшают развитие некоторых из них (луковых, бобовых и пасленовых), в то время как реакция других, особенно семейства злаковых трав, была неоднозначна. Кроме того, под воздействием микоризы может наблюдаться непропорциональный рост среди разных видов культур.

1.3.2 Поглощение азота

Азот является важнейшим компонентом аминокислот и азотистых оснований и необходим для биосинтеза белков и нуклеиновых кислот.

Исследования доказали, что колонизация корней микоризными грибами способствовала увеличению уровня азота в надземных частях растений. Наблюдаемое увеличение уровня азота может быть следствием различных процессов, а именно:

- усиления симбиотической фиксации атмосферного азота;
- прямого получения общего азота микоризой;
- поступления азота к бесклубеньковым культурам, поскольку они получают часть азота, фиксированного корневыми клубеньками других растений;
- усиления активности ферментов, таких как пектиназа, ксиланглюканаза и целлюлаза, которые участвуют в метаболизме азота, а также в разложении органического вещества почвы.

Гифы микоризных грибов обладают способностью извлекать азот из почвы и переносить его для использования сельскохозяйственными культурами. Гифы содержат ферменты, способствующие расщеплению органического азота, а также редуктазу, которая преобразует азот в ризосфере. Микориза не только способствует росту, образованию клубеньков и фиксации азота в симбиозе бобовых с клубеньковыми бактериями, но и значительно упрощает поглощение из почвы аммиака – основного источника доступной формы азота, встречающегося во многих средах. Таким образом, бактерии, способные фиксировать азот, обладают выраженной способностью воздействовать на микоризу. Более 50% азота, необходимого культуре, поступает в результате ассоциации с микоризой.

1.3.3 Поглощение воды

Микоризные грибы могут играть важную роль в улучшении водного режима растений. Микоризный симбиоз либо увеличивает гидравлическую проводимость корней, тем самым улучшая поглощение воды растениями, либо изменяет физиологию культур таким образом, чтобы уменьшить стрессовую реакцию в условиях засухи. При сильной засухе растения, образовавшие ассоциацию с микоризой, обладают большей стойкостью, чем культуры без

нее. Было обнаружено, что мицелиальный комплекс способен удлиняться в почве и проникать глубже в почвенный профиль в поисках воды и необходимых минеральных веществ. Микоризная ассоциация способна влиять на избирательность плазматической мембраны в отношении воды и усиливать поглощение фосфора, тем самым повышая устойчивость культур к засухе. При нехватке воды, микориза повышает скорость транспирации и увеличивает проводимость устьиц или изменяет баланс растительных гормонов. При изменении эластичности листьев в результате ассоциации с микоризными грибами улучшается приток H_2O и тургорное давление в листьях, а также усиливается рост и протяженность корней, таким образом можно влиять на водный режим и, следовательно, на устойчивость культур к водному стрессу. Микоризная ассоциация способствует более активному поглощению влаги и питательных веществ благодаря оптимальному распределению гифальной системы, улучшенному идиотипу гиф по сравнению с корнями, увеличению площади поглощения и быстрой скорости разрастания, более продолжительному действию, химической модификации ризосферы и, как следствие, изменению состава обитающих в ней микроорганизмов, кинетике поглощения, более высокой гидравлической проводимости, снижению скорости транспортировки на единицу площади листа, поступлению воды из почвы в сторону более низкого водного потенциала и более короткому восстановлению после водного стресса.

1.3.4 Улучшение структуры почвы

Любые экологические изменения могут повлиять на активность физиологических и биохимических процессов в почве. Микориза помогает скреплять почвенные частицы и улучшать свойства почвенных агрегатов, что способствует сохранению структуры почвы. Кроме того, микоризные грибы улучшают качество почвы, вырабатывая гломалин, который накапливается и с помощью грибных гиф образует сначала микро-, а затем макроагрегаты, выполняющие функцию скелета для структуризации и стабилизации почвы. Гломалин также способствует процессам разложения в почве путем

стабилизации органического вещества и улучшения ее состава и стимулирует рост почвенных микроорганизмов. Гломалин улучшает физические свойства почвы, депонирование углерода, минеральных веществ, деятельность микроорганизмов и нейтрализует загрязняющие вещества, в итоге способствуя восстановлению почвенной экосистемы. Столь благотворное влияние гломалина может быть обусловлено его воздействием на почву: он служит субстратом для микробиологических популяций, склеивает частицы почвы, образуя агрегаты, хелатирует тяжелые металлы и токсичные загрязняющие вещества, а также улучшает депонирование углерода благодаря длительному присутствию в почве.

1.4. Микориза и устойчивое сельское хозяйство

Для обеспечения устойчивого сельского хозяйства важно использовать природные механизмы, позволяющие достичь высокого уровня урожайности и качества продуктов питания, одновременно ограничив применение химических веществ, избыток потребляемых ресурсов и предотвратив экологическое загрязнение и его последствия. Важно оценить применимость такого подхода в условиях существующей экосистемы и социальной среды. Обеспечение устойчивого сельского хозяйства во многом зависит от почвенных факторов, например, контроля численности патогенных микроорганизмов в ризосфере, усиления роста и активности почвенной микробиоты, что позволяет сдерживать негативное воздействие в зоне роста корневой системы. Особый интерес в связи с устойчивым сельским хозяйством вызвало взаимодействие растений и микроорганизмов. Микоризные грибы населяют почву и формируют тончайшие нити на корнях культур, поэтому являются важнейшим средством обеспечения устойчивости в сельском хозяйстве. Взаимодействие с микоризными грибами играет ключевую роль в устойчивом сельском хозяйстве, особенно в случае дефицита незаменимых элементов. На сегодняшний день известно, что микоризные грибы являются жизненно важными компонентами почвы, а не просто составляющими корневой системы. Они способны оказывать влияние на

развитие растений, их питание и урожайность даже в богатых фосфором почвах, однако положительный эффект микоризы будет более выражен, если культура произрастает на малоплодородной почве, и поможет сократить потери питательных веществ.

По этой причине интерес к активному использованию микоризы в целях устойчивого сельского хозяйства в настоящее время только возрастает и прежде всего благодаря тому, что микоризные грибы увеличивают жизненную силу растений, улучшают качество почвы и устойчивость ее структуры. Формирование ассоциаций с микоризными грибами может эффективно использоваться для повышения урожайности культур при одновременном снижении доз химических средств, например, инсектицидов, удобрений и проч. В целях повышения урожайности на малоплодородных почвах широко применялись неорганические удобрения, органические вещества и такие методы как вспашка под пар или промежуточный посев бобовых культур, что способствует улучшению экосистемы почвы, росту численности почвенных микроорганизмов и их активности, а также рециркуляции питательных веществ, что в свою очередь позволяет минимизировать использование внешних ресурсов и извлечь максимальную выгоду. Описан механизм для управления экосистемой с помощью земляных червей и микросимбионтов. Эти почвенные организмы более чем на 90% определяют протекание органических процессов в почве, тем самым способствуя циркуляции питательных веществ, повышению плодородия и симбиотической ассоциации с корнями растений. На сегодняшний день многообразие и функции почвенных грибов изучены недостаточно. Микоризные грибы являются важной группой ввиду распространенности и значительного влияния на рост почвенной микробиоты, а также процессы циркуляции питательных веществ внутри растений. Чтобы добиться устойчивого повышения урожайности сельскохозяйственных культур, следует в большей степени полагаться на естественные и органические механизмы, в основе которых лежит действие микроорганизмов,

благоприятно влияющих на развитие растений. Они способствуют поглощению важнейших макроэлементов, в частности фосфора, а также микроэлементов, например, цинка и меди, усиливают выработку веществ, способствующих росту растений, и помогают снижать биотический и абиотический стресс.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для изучения воздействия микоризы на рост и развитие растений было принято решение провести эксперимент на примере декабриста. Эксперимент проводился на 4 группах по 5 растений в каждой.

Группа А – декабрист высажен в почву, необработанную ни химическими ни органическими веществами (контрольная группа)

Группа В – декабрист высажен в почву, которая затем была обработана приобретенной в магазине микоризой («Кормилица микориза»)

Группа С – декабрист высажен в почву, которая затем была обработана водой со спорами лесных грибов

Группа D – декабрист высажен в почву, которая затем была обработана удобрением «Агрикола» для цветущих растений

Ход эксперимента:

25.09.2022 Для того, чтобы получить споры были собраны лесные грибы (подберёзовики и маслята). Их шляпки залили водой и оставили на сутки.



26.09.2022. Воду с грибами процедили через сито, очистив от остатков грибов и попавшей вместе с ними земли и растений.

От декабристов отщипнули 20 веточек по несколько сегментов, которые разделили на 4 группы



В землю с группой В, согласно инструкции, добавили по два грамма микоризы на растение.



Землю с группой С полили водой с грибными спорами.

В землю с группой D внесли удобрение согласно инструкции: пол чайной ложки на пол литра воды.



Все 4 группы поместили в теплички.

06.10.2022 На экземплярах C5, D3 и D5 появились небольшие бутоны.





На экземпляре
С3 также
появились
бутоны. Кроме
того, видны
ниточки
микоризы.



09.10.2022 На экземпляре В4 появились
бутоны.



14.10.2022 Появились
бутоны на С4
и D2



26.10.2022 Распустились бутоны у D5,
D3.



30.10.2022 Распустились бутоны у B4



Распустились бутоны у C5 и
C3. Количество бутонов у 3
экземпляров группы C
больше, чем у группы D, хотя
бутоны экземпляров группы
D появились и распустились
раньше.



01.11.22 Чтобы посмотреть, как будут развиваться растения дальше,
были оборваны цветы и бутоны.

03.11.22 Появились новые сегменты у
A1



Появились новые сегменты у
C2



Появились новые сегменты у D4



06.11.2022 A5 появились новые
сегменты



B2, B3, B5 появились новые
сегменты





C1, C3 появились новые
сегменты



03.12.2022 Декабристы группы А –
общее количество сегментов:
14

A1 – 5 сегментов

A2 – 2 сегмента

A3 – 0 сегментов

A4 – 1 сегмент

A5 – 6 сегментов



Декабристы группы В –
общее количество сегментов:
27

В1 – 4 сегмента

В2 – 10 сегментов

В3 – 5 сегментов

В4 – 1 сегмент

В5 – 7 сегментов



Декабристы группы С –
общее количество сегментов:
21

С1 – 3 сегмента

С2 – 6 сегментов

С3 – 5 сегментов

С4 – 3 сегмента

С5 – 4 сегмента



Декабристы группы D –
общее количество сегментов:
26

D1 – 6 сегментов

D2 – 4 сегмента

D3 – 7 сегментов

D4 – 6 сегментов

D5 – 3 сегмента



ВЫВОДЫ:

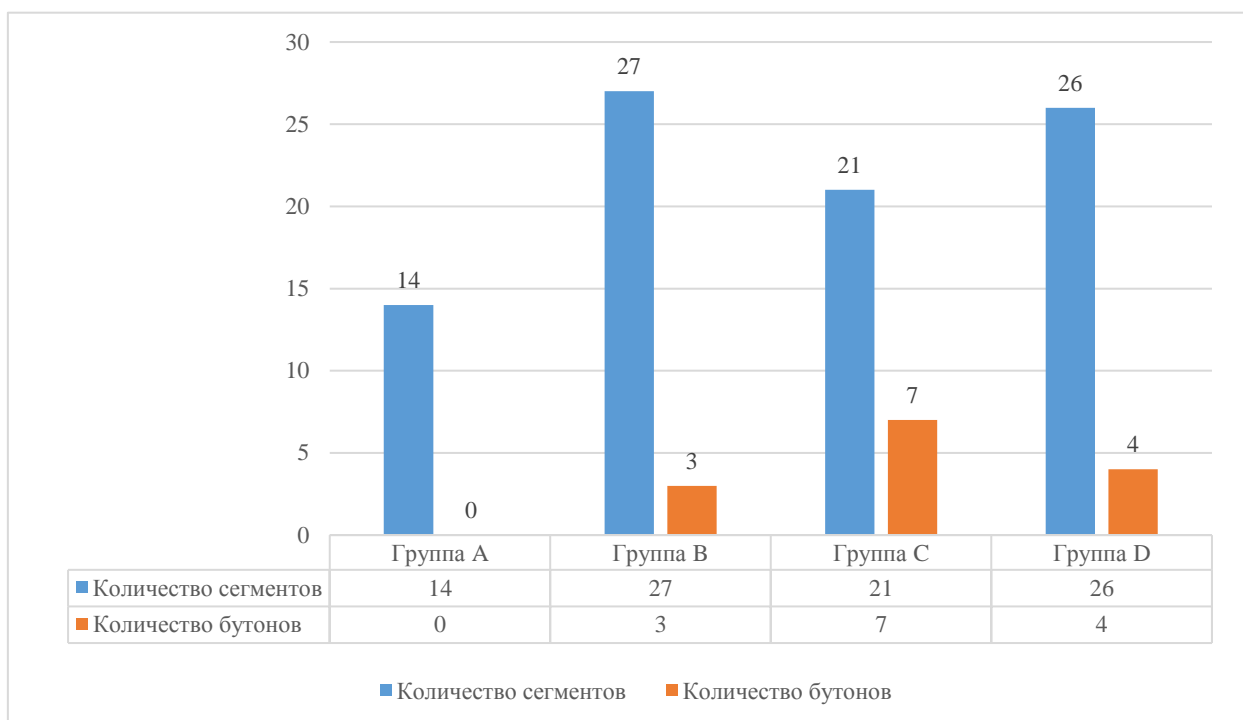


Диаграмма 1

В контрольной группе А (почва без обработки какими-либо стимуляторами) количество бутов и количество новых сегментов было наименьшим. Это говорит о том, что рост и развитие растений необходимо стимулировать для достижения лучшего результата, поскольку питательных веществ в почве может быть недостаточно.

В группе В (в почву внесен биопрепарат «Кормилица Микориза») выросло наибольшее количество новых сегментов, при этом количество бутов было невысоким. Использование микоризы улучшило вегетативный рост растений, превзойдя результат группы, для которой использовалось удобрение.

В группе С (в почву внесены споры лесных грибов для образования микоризы) количество бутов было наибольшим, количество сегментов значительно превзошло результат контрольной группы, хоть и уступило группам В и D. Лесная микориза хорошо повлияла на вегетативный и генеративный рост.

В группе D (в почву внесено удобрение «Агрикола») результат по количеству бутонов оказался средним между группами В и С, по количеству новых сегментов результат чуть меньше, чем у группы В (меньше на 1).

Таким образом, моя гипотеза частично подтвердилась. Группы с внесёнными в почву микоризными грибами действительно показали очень хорошие результаты, а вот растения с добавлением удобрений превзошли мои ожидания. Их показатели оказались практически такими же, как у групп В и С. Тем не менее, стоит отметить, что использование микоризных грибов может заменить удобрение, при этом оно безопаснее для окружающей среды и дешевле, чем химические удобрения. Это ещё раз подтверждает, что необходимо проводить дальнейшие исследования влияния микоризы на почву и развитие растений, а также ставить эксперименты по выведению наиболее эффективного штамма микоризных грибов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Устойчивое сельское хозяйство предусматривает обеспечение растений достаточным количеством питательных веществ, и в этой связи не стоит приуменьшать роль микоризных грибов. Споры микоризных грибов оплетают корни растений и способствуют их устойчивому питанию и поступлению влаги, росту плодородия и улучшению структуры почвы. На фоне роста озабоченности и требований к повышению устойчивого развития сельского хозяйства, микоризные грибы заслуживают особого внимания, так как снижают пагубные последствия применения химических веществ, таких как пестициды для контроля численности различных вредителей, и синтетических веществ для стимуляции роста растений и регуляции численности патогенных микроорганизмов. Применение микоризы – экономичный и безопасный способ получения более высокого урожая, позволяющий создать систему выращивания культур, требующую минимальных затрат. Предполагается, что в ближайшем будущем методы, основанные на органических процессах, например, использование микоризы, помогут решить всемирную проблему нехватки продовольствия и сложностей его производства. В условиях существующей проблемы, связанной с высокой численностью населения, растущей потребностью в продовольствии и экологической ситуацией, становится очевидно, что недавние и будущие разработки и достижения в области полевых исследований микоризы стоит рассматривать как возможность увеличения урожайности культур и их качества, рентабельности производства и прибыли предприятий, а также сохранения биологического разнообразия и защиты окружающей среды. Все существующие проблемы и ограничения можно преодолеть путем объединения знаний и исследований из разных областей.

В ближайшем будущем при проведении исследований необходимо заострить внимание на изучении способности микоризы улучшать питание растений, что позволит увеличить продуктивность, а также повысить

экологичность сельскохозяйственного производства. Выявление и улучшение характеристик микоризных грибов, связанных с их применимостью и способностью повышать устойчивость новых сортов и культур к определенным климатическим условиям (например, к нехватке воды), в ближайшем будущем позволит добиться значительного прогресса в ведении устойчивого сельского хозяйства и обеспечении населения продовольствием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алещенкова З., Сафронова Г., Соловьева Е., Федоренчик А. «Влияние арбускулярных микоризных грибов на рост и развитие растений». – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-arbuskulyarnyh-mikoriznyh-gribov-na-rost-i-razvitie-rasteniy/viewer>
2. Воронина Е. Ю. «Микоризы в наземных экосистемах: экологические, физиологические и молекулярно-генетические аспекты микоризных симбиозов». – URL: https://www.researchgate.net/publication/292401212_Mikorizy_v_nazemnyh_ekosistemah_ekologiceskie_fiziologiceskie_i_molekularno-geneticeskie_aspekty_mikoriznyh_simbiozov_Mycorrhizas_in_terrestrial_ecosystems_ecological_physiological_and_molecular_aspec
3. Курамшина З.М., Свиридова К.В. «Влияние биоудобрения на основе микоризных грибов на рост и микоризацию корней культурных растений». – URL: <https://natural-sciences.ru/article/view?id=37733>
4. Тамкович Ирина «Что такое микориза и как она влияет на почву и растения?». – URL: <https://zviazda.by/ru/news/20210430/1619765881-cto-takoe-mikoriza-i-kak-ona-vliyaet-na-pochvu-i-rasteniya>
5. M.F. Allen, W. Swenson, J.I. Querejeta, L.M. Egerton-Warburton and K.K. Treseder. Ecology of Mycorrhizae: A Conceptual Framework for Complex Interactions among Plants and Fungi. – URL: https://www.researchgate.net/publication/10775665_Ecology_of_Mycorrhizae_A_Conceptual_Framework_for_Complex_Interactions_among_Plants_and_Fungi
6. Feller C., Blanchart E., Bernoux M., Lal R. Soil fertility concepts over the past two centuries: The importance attributed to soil organic matter in developed and developing countries. – URL: https://www.researchgate.net/publication/236853209_Soil_fertility_concepts

over the past two centuries The importance attributed to soil organic matter in developed and developing countries

7. McFarland J, Ruess R, Keilland K, Pregitzer K, Hendrick R, Allen M. Cross-ecosystem comparisons of in situ plant uptake of amino acid-N and NH_4^+ . Ecosystems. – URL: <https://www.jstor.org/stable/40603642>
8. Hamel C, Strullu D-G. Arbuscular mycorrhizal fungi in field crop production: potential and new direction. Canadian Journal of Plant Science. – URL: <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/P05-099>
9. Hawksworth DL. The fungal dimension of biodiversity: magnitude significance and conservation. Mycological Research. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0953756209808101>
10. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Арбускулярная_микориза
11. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ectomycorrhiza>
12. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Микориза>