

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЛИСТЬЕВ РЕДЬКИ МАСЛИЧНОЙ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН РИЗОБАКТЕРИЯМИ НА ФОНЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ МЕДИ

Воробейков Геннадий Александрович, д.с.-х.н., профессор кафедры ботаники и экологии, ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», e-mail: antares-80@yandex.ru

Лебедев Виталий Николаевич, к.с.-х.н., доцент кафедры ботаники и экологии, ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», e-mail: antares-80@yandex.ru

Аннотация: Статья посвящена актуальной экологической проблеме - возможности очистки почв от загрязняющих веществ с помощью фиторемедиации. Показано, что инокуляция семян редьки масличной ассоциативными ризобактериями способствует меньшему снижению интенсивности дыхания и активности каталазы в листьях.

Ключевые слова: фиторемедиация, редька масличная, ассоциативные ризобактерии, медь, ПДК (предельно допустимая концентрация).

Введение. Современное сельское хозяйство направлено на поиски новых путей экологизации земледелия и агрономических приемов, снижающие химическую нагрузку на окружающую среду [1]. Это достигается использованием бактериальных препаратов, привлечением насекомых-энтомофагов вредителей, использованием фиторемедиантов и сидератов.

Медь является микроэлементом, который содержится в почве и принимает участие в физиологических процессах [2]. Однако при большой концентрации в почве она может накапливаться в надземных органах растений. Это делает их невозможными для использования в кормовых целях. Капустные культуры имеет особенно высокую способность аккумулировать тяжелые металлы, которые подавляют их физиологические свойства [1, 2]. Однако применение бактериальных препаратов может способствовать снижению их поступления и стабилизации физиологических процессов.

Целью данной работы являлось оценка степени влияния ассоциативных азотфиксаторов на физиологическую активность и продуктивность редьки масличной (*Raphanus sativus* var. *oleifera* Metzg.) сорта Радуга на разном фоне различных доз меди в условиях вегетационного опыта.

Материалы и методы. Инокуляции семян выбранных капустных растений проводилась следующими препаратами: мизорином (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7) и флавобактерином (*Flavobacterium* sp. штамм 30) согласно стандартной методике, рекомендованной для данной культуры [3]. Данные бактериальные препараты были предоставлены ВНИИ сельскохозяйственной

микробиологии. Все использованные препараты прошли предварительный скрининг в лабораторных условиях кафедры ботаники РГПУ им. А.И. Герцена, а также проявили свою эффективность и протекторные свойства на других представителях капустных растений, но в отсутствие внесения в почву тяжелых металлов [4, 5].

Медь вносилась в форме $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ перед посевом и рассчитывалась исходя из ПДК (предельно допустимой концентрации) меди в почве. ПДК определялся из расчета 200 мг действующего вещества на 1 кг почвы.

Опыт был заложен согласно следующей схеме: 1. Контроль; 2. Внесение мизорина; 3. Внесение флавобактерина; 4. 1ПДК меди; 5. 2ПДК меди; 6. 3ПДК меди; 7. Внесение мизорина + 1ПДК меди; 8. Внесение мизорина + 2ПДК меди; 9. Внесение мизорина + 3ПДК меди; 10. Внесение флавобактерина + 1ПДК меди; 11. Внесение флавобактерина + 2ПДК меди; 12. Внесение флавобактерина + 3ПДК меди.

Вегетационные опыты проведены согласно стандартной методике [3] в вегетационном домике на агробиостанции РГПУ им. А.И. Герцена в пос. Вырица на дерново-подзолистой, супесчаной почве, характеризующейся средней обеспеченностью гумусом (1,5%), слабокислой реакцией среды и средним содержанием подвижных форм фосфора и калия. Повторность опыта четырехкратная. Растения выращивались в сосудах с почвой массой 5 кг. Норма высева 15 растений на сосуд. После прорастания количество растений по сосудам выравнивалось.

Биохимические анализы проводили согласно стандартным методикам [3]. Определение интенсивности дыхания листьев определяли титриметрическим методом по Л.А. Иванову и Н.Л. Коссович. Определение каталазы листьев перманганатным титриметрическим методом по А.Н. Баху и А.И. Опарину. Сухая масса определялась высушиванием при $103 \pm 20^\circ\text{C}$ в суховоздушном термостате ТС-1/20 СПУ. Все измерения проводились в фазу активного цветения растений. Все исследования проводились в фазу полного цветения растений – период укосной спелости растений в качестве кормовой культуры и фиторемедианта.

Результаты и их обсуждение. Дыхание – один из основополагающих процессов в жизни растения, позволяющий получать энергию в ходе окисления органических веществ. Поэтому активность, с которой осуществляется данный процесс, называется интенсивностью дыхания и определяется количеством поглощенного кислорода или выделенного углекислого газа. Интенсивность дыхания может изменяться в зависимости от физиологического состояния растений. Высокая интенсивность свидетельствует об активности метаболических процессов, происходящих в растительном организме. Так, в наших опытах внесение бактериальных препаратов оказывает влияние на интенсивность дыхания листьев (рисунок 1).

Данные показывают, что интенсивность дыхания снижена у всех образцов при внесении соли меди относительно контроля. Интенсивность

дыхания образцов листьев из вариантов с внесением тяжелых металлов и с использованием препаратов была выше (на 96-79% от контроля), чем у образцов на фоне возрастающих доз меди и в отсутствии семенной бактериализации (90-74% от контроля). При инокуляции семян флавобактерином и мизорином на фоне отсутствия внесения в почву тяжёлых металлов интенсивность дыхания превышала контрольные показатели на 51% и 21%, соответственно.

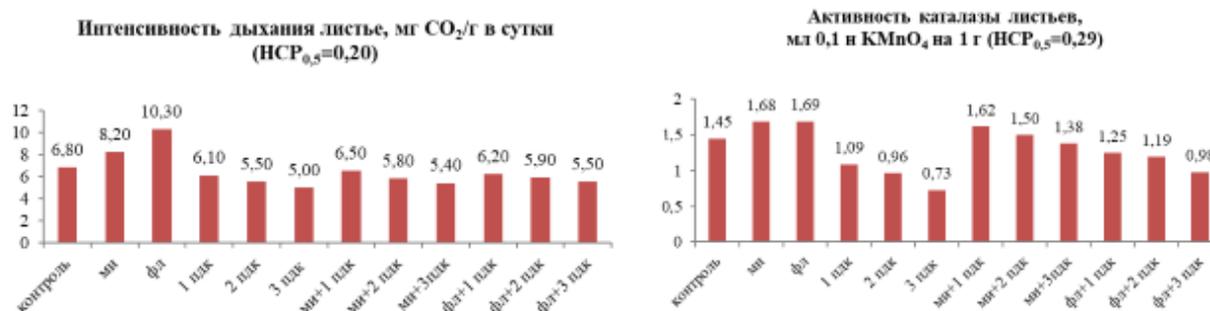


Рисунок 1. Влияние бактериальных препаратов на дыхание и активность каталазы листьев редьки масличной

Каталаза – фермент, участвующий в процессе разложения пероксида водорода, а также участвует в процессах тканевого дыхания. Это важные процессы, влияющие на выживание клеток. Этот фермент катализирует разложение образующегося в процессе биологического окисления пероксид водорода на воду и молекулярный кислород, а также окисляет в присутствии пероксида водорода низкомолекулярные спирты и нитриты. Активность этого фермента в листьях при использовании бактериальных препаратов свидетельствует о степени интенсивности обменных процессов, происходящих в растительном организме.

Внесение тяжелых металлов снижает активность каталазы как с внесением бактериальных препаратов, так и при использовании различных доз меди без семенной бактериализации. Однако в отсутствие ассоциативных ризобактериальных штаммов это снижение было значительным (до 75-50% относительно контроля). Применение биопрепарата способствовало менее резкому ингибированию каталазной активности (до 98-66% относительно контроля). При этом наибольший протекторный эффект наблюдался в вариантах с предпосевной обработкой артробактериями в основе мизорина. Опытные варианты, где в почву внесения меди не было, а проводилась исключительно инокуляция семян биопрепаратами, результаты практически не отличались друг от друга, но превышали контроль на 16-17%.

Так как редька масличная способна формировать большую вегетативную массу, также важно отметить влияние обработки семян бактериальными препаратами на накопление зеленой массы растений. В ходе проведенного исследования было отмечено увеличение массы побегов растений при использовании бактериальных препаратов и медного купороса (рисунок 2).

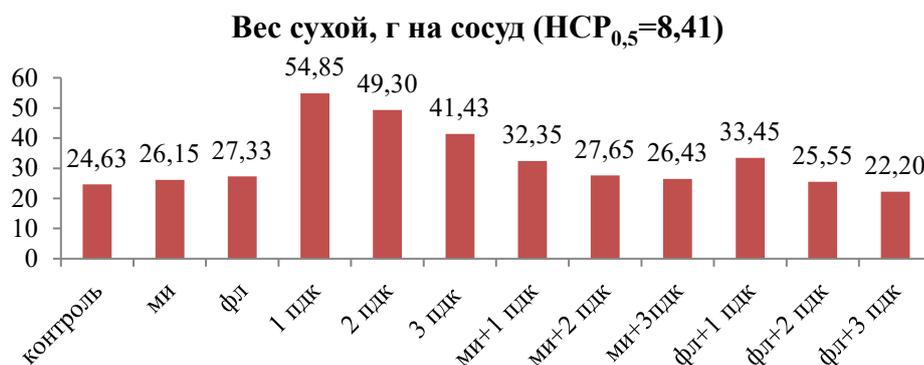


Рисунок 2. Влияние бактериальных препаратов на сухой вес побегов редьки масличной

В работе также оценивалось влияние биопрепаратов и различных ПДК меди, а также их сочетания на формирование сухого вещества в зеленой массе растений. Особенно сильный эффект оказался при использовании возрастающих доз меди, где сухая масса увеличивалась более чем в два раза (на 123% по отношению к контролю). Подобный эффект формирования большой надземной массы характерен для данной культуры и обычно связывается с крайне высокой аккумулятивной способностью в ней тяжелых металлов [1]. Инокуляция семян флавобактерином и мизорином также влияла на накопление сухой массы. Применение флавобактерина увеличивала ее на 11%, а мизорина - на 6% к контролю.

Заключение. Таким образом, использование бактериальных препаратов способствует повышению физиологической активности листьев редьки масличной при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями на фоне возрастающих доз меди. Результаты наших опытов показали, что бактериализация семян способствует оказанию протекторного эффекта, при котором снижение дыхания и активности каталазы происходит менее интенсивно – на 11% и 6%, соответственно.

Библиографический список

1. Яковченко М. А. Разработка инновационной фитомелиоративной технологии рекультивации с использованием нетрадиционных сидеральных культур для возвращения в сельскохозяйственный оборот техногенно нарушенных земель // Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы X всероссийской научной конференции с международным участием. – Екатеринбург: УГЛУ, 2017. – С. 381-383.
2. Коротченко И.С. Использование горчицы сарептской в качестве фиторемедианта при загрязнении почв кадмием // Наука и образование. 2013. [Электронный ресурс] URL: http://www.rusnauka.com/page_ru.htm.
3. Воробейков Г.А., Бредихин В.Н., Павлова Т.К., Лебедев В.Н., Кондрат С.В., Чернявская И.В., Макаров П.Н. Учебная полевая практика по физиологии растений. Учебное пособие для студентов биологических специальностей / под редакцией профессора Г.А. Воробейкова. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2015. – 128 с.

4. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А., Ураев Г.А. Оценка эффективности обработки семян капустных культур ассоциативными ризобактериями в условиях нормального увлажнения и почвенной засухи // Успехи современного естествознания. 2021. – № 5. – С. 13-18.

5. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А., Ураев Г.А. Роль ассоциативных ризобактерий в повышении сохранения продуктивности горчицы белой к почвенной засухе // Успехи современного естествознания. 2021. – № 6. – С. 29-34.

Physiological activity of oilseed radish leaves during inoculation of seeds with rhizobacteria against the background of increasing doses of copper
Vorobeykov G.S., D.Sc. in Agricultural Sciences

Lebedev V.N., C.Sc. in Agricultural Sciences

Herzen State Pedagogical University of Russia, 191186, Russia, Saint Petersburg, emb.riv. Moyka, 48

Abstract: *The article is devoted to the relevant ecological problem – the possibility of soil purification from pollutants using phytoremediation. It has been shown that inoculation of oilseed radish seeds by associative rhizobacterias contributes to a smaller decrease in the intensity of respiration and catalase activity in the leaves.*

Key words: *phytoremediation, radish oilseed (Raphanus sativus var. oleifera Metzg.), associative rhizobacteria, copper, MPC (maximum permissible concentration)*