

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ



УДК: 631.81

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АЗОТФИКСАЦИЯ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РАННИХ ЭТАПОВ РАЗВИТИЯ ЛЬНА КУЛЬТУРНОГО

В.В. Орлов, Е.В. Ожимкова

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Орлов В.В., Ожимкова Е.В., 2022

Аннотация. В условиях современного земледелия обеспечение растений различными видами питания продолжает оставаться одним из важнейших факторов регулирования продуктивности сельскохозяйственных культур. Представленная работа посвящена исследованию влияния различных источников азотного питания на ранние этапы развития льна культурного. Проведено также исследование влияния азотфиксации на накопление белка в надземной и корневой частях растения.

Ключевые слова: биологическая азотфиксация, азотфиксаторы, механизм фиксации азота, бактериальные удобрения, лен.

DOI: 10.46573/2658-7459-2022-2-67-74

ВВЕДЕНИЕ

Использование биологических удобрений, которые характеризуются высоким антагонистическим эффектом по отношению к широкому спектру фитопатогенов и высокой азотфиксирующей активностью, позволяет значительно повысить урожайность культур на фоне снижения норм вносимых минеральных удобрений [1].

Разнообразные биохимические процессы, протекающие в почве, обусловлены прежде всего жизнедеятельностью многочисленных почвенных микроорганизмов. Между почвенной микрофлорой и растениями в процессе длительной эволюции сформировались особые сложные взаимоотношения как симбиотического, так и антагонистического характера. Симбиоз между растениями и почвенными бактериями имеет в основном трофическую природу. Растения, выделяя большой набор специфических органических соединений, способствуют формированию определенного типа микробиоценоза в зоне своей ризосферы. Жизнедеятельность микроорганизмов, в свою очередь, в значительной степени определяет режим корневого питания растений, их устойчивость к заболеваниям и неблагоприятным условиям внешней среды, а в конечном счете – урожайность [2].

Биологическая азотфиксация – усвоение молекулярного азота воздуха азотфиксирующими бактериями (азотфиксаторами) с образованием соединений азота, доступных для использования другими организмами, в частности растениями [3, 4].

Все известные азотфиксаторы могут быть классифицированы следующим образом:

симбиотические азотфиксаторы – микроорганизмы, которые усваивают азот атмосферы, только находясь в симбиозе с высшими растениями (бактерии родов *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mezorhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium*);

свободноживущие азотфиксирующие бактерии (бактерии родов *Clostridium*, *Azotobacter*, *Beijerinckia* и др.; азотфиксирующие фототрофные бактерии, цианобактерии);

ассоциативные азотфиксаторы – микроорганизмы, обитающие на поверхности корневой системы злаков, т.е. живущие в ассоциации с высшими растениями (бактерии родов *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Klebsiella*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Arthrobacter* и др.).

Потребность в дальнейшем изучении и углублении знаний о фиксации азота вызвана назревшей необходимостью более глубокого понимания природы, взаимосвязей между отдельными ее компонентами, а также необходимостью в увеличении урожайности сельскохозяйственных культур в связи с ростом населения Земли и повышением спроса на пищевую продукцию [5–7].

Основными преимуществами бактериальных удобрений перед химическими средствами являются:

- поддержание и сохранение окружающей среды;
- получение экологически чистой продукции;
- сохранение всех взаимосвязей и цепей биосферы, созданных природой;
- биологизация земледелия;
- восстановление плодородия почвы и т.д. [8].

В современных биоудобрениях довольно часто используют симбиотические азотфиксаторы – клубеньковые бактерии (*Rhizobium sp.*, *Bradyrhizobium sp.*), а также ассоциативные азотфиксаторы (*Azospirillum*, *Azotobacter*, *Agrobacterium*, *Azomonas*). Однако при внедрении в сельское хозяйство удобрений на основе азотфиксирующих бактерий необходимо учитывать их возможное (хоть и незначительное) влияние на экосистемы [5, 9].

Целью представленной работы являлось изучение накопления белка в надземной и корневой частях льна культурного на ранних этапах развития при различных условиях азотного питания.

В соответствии с целью работы были определены задачи исследования:

экспериментальное определение содержания белковых компонентов в надземной части и корнях у различных сортов льна при варьировании условий азотного питания;

обоснование вариантов оптимального азотного питания льна культурного на ранних этапах онтогенеза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Семена льна предоставлены ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур».

Вегетационные опыты, в которых растения выращивают в сосудах с чистым кварцевым песком, обогащенным определенными питательными солями (смесями), называют песчаными культурами. В песчаных культурах изучают роль отдельных элементов, их концентраций и соотношений в питании растений, явления антагонизма и синергизма между различными элементами и другими факторами роста и развития растений. В представленной работе вегетационные опыты проводились на песчаных культурах при постоянном контроле условий освещенности и влажности. Семена в песчаной культуре проращивали при температуре $22 \pm 0,5$ °С. На протяжении всего эксперимента (10 сут) ежедневно увлажняли верхний слой песка раствором соответствующего удобрения (или водой в случае контрольного опыта) [10].

В данной работе в качестве источников азотного питания использовались такие растворы удобрений, как раствор Кнопа, раствор Кнопа с сульфатом аммония, раствор микробиологического удобрения «Байкал ЭМ-1».

Для приготовления раствора Кнопа использовали 1 л дистиллированной воды, в котором растворяли 0,572 г кальция азотнокислого ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), 0,143 г калия азотнокислого (KNO_3), 0,071 г калия хлористого (KCl), 0,143 г калия фосфорнокислого (KH_2PO_4). Общее соотношение N:P:K равнялось 65:8:27.

Для того чтобы приготовить раствор Кнопа с сульфатом аммония, отмеряли 1 л дистиллированной воды и растворяли в нем 0,572 г кальция азотнокислого ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), 0,143 г калия азотнокислого (KNO_3), 0,071 г калия хлористого (KCl), 0,143 г калия фосфорнокислого (KH_2PO_4) и 0,125 г сульфата аммония ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$).

Для приготовления раствора микробиологического удобрения «Байкал ЭМ-1» отмеряли 1 л дистиллированной воды и добавляли 1 мл удобрения (согласно инструкции к коммерческому препарату).

Для проведения экспериментов использовали чистый кварцевый песок с диаметром частиц менее 0,5 мм (просеивали его через сита с соответствующим диаметром ячеек). После просеивания песок промывали – сначала водопроводной, а затем дистиллированной водой, просушивали в лабораторном сушильном шкафу и использовали для набивки сосудов. Затем семена льна исследуемых сортов высаживали в подготовленные сосуды с песком.

На протяжении 10 дней верхний слой песка ежедневно увлажняли раствором соответствующего удобрения (водой для контроля).

При подготовке растительного материала для проведения экспериментов по определению содержания белков в наземной и корневой частях с помощью шпателя доставали из сосуда с песком ростки льна культурного. Все ростки тщательно промывали дистиллированной водой с целью очистить растения от крупинок песка, которые могут повлиять на результат анализов, после чего каждый росток разделяли на надземную и корневую части (рис. 1).

На следующем этапе исследований определяли содержание белков в корневой и надземной частях побегов льна биуретовым методом (предварительную экстракцию белков из растительного материала проводили 7%-м раствором хлорида натрия, гидромодуль 1:10) [11–14].



Рис. 1. Корневая и надземная части побегов льна, выращенных в песчаной культуре

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На диаграммах (рис. 2–4) представлено содержание белка в надземной и корневой частях побегов каждого исследуемого сорта льна культурного.

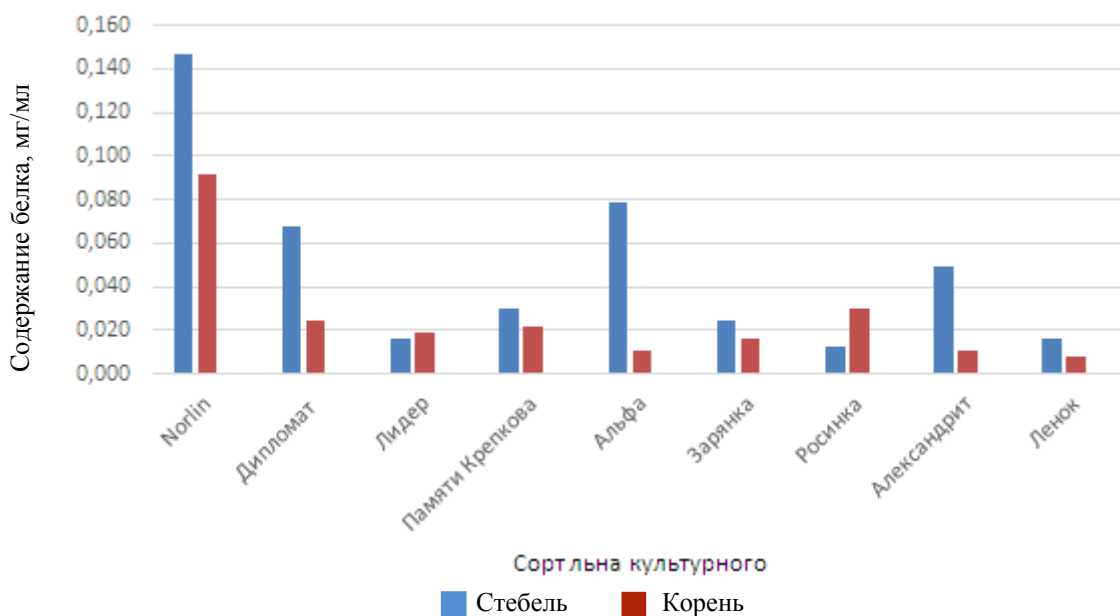


Рис. 2. Диаграмма содержания белка в надземной и корневой частях побегов льна культурного (условия азотного питания – раствор Кнопа)

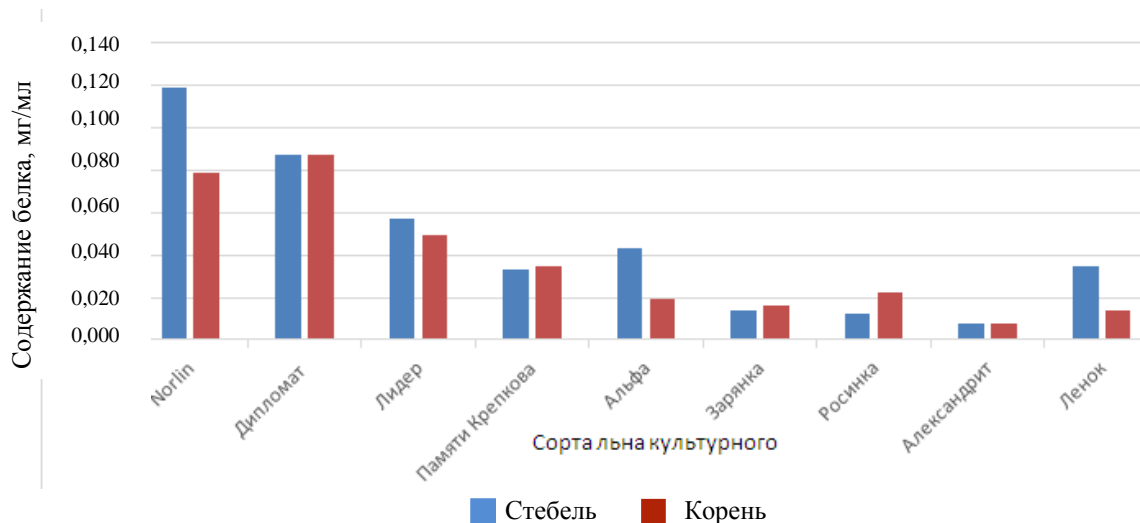


Рис. 3. Диаграмма содержания белка в надземной и корневой частях побегов льна культурного (условия азотного питания – раствор Кнопа с сульфатом аммония)

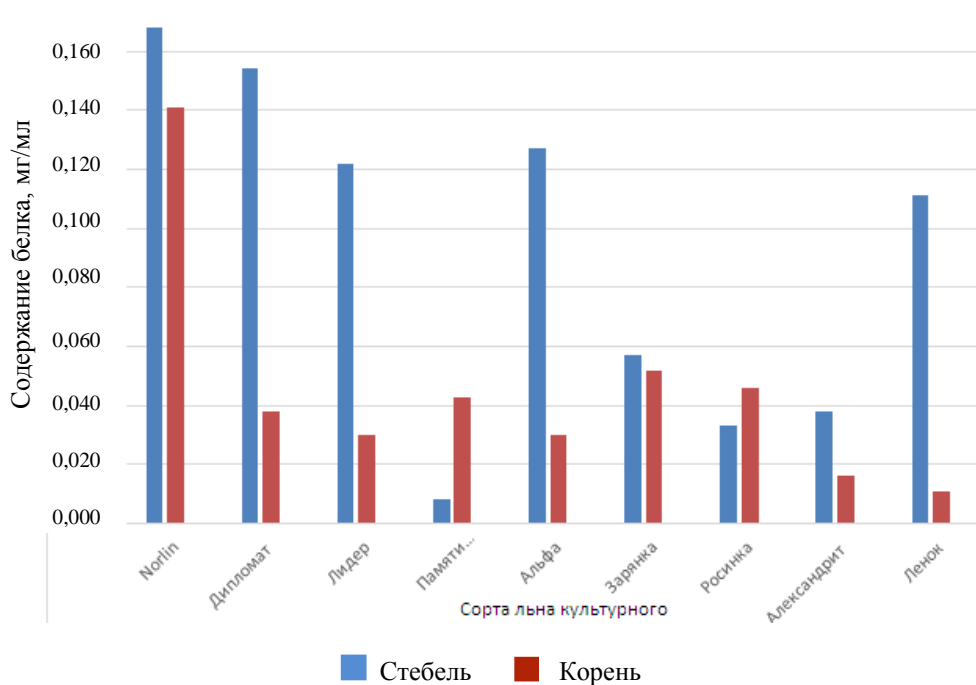


Рис. 4. Диаграмма содержания белка в надземной и корневой частях побегов льна культурного (условия азотного питания – биоудобрение)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе на примере нескольких сортов льна масличного и льна-долгунца исследовано накопление белка в побегах и корнях в контролируемых условиях азотного питания. В качестве материала для исследования были изучены семена девяти сортов льна, различающихся по морфотипу, а также по месту и времени создания сорта.

Количество белка у изученных сортов различно (амплитуда различий превышает двукратное значение) и зависит от используемого источника азотного питания. Однако следует отметить, что использование компонентов, обеспечивающих контролируемые условия азотного питания, во всех сериях экспериментов положительно влияло на рост растений. При различных условиях азотного питания установлено, что значения общей массы навески надземной части растения для каждого сорта отличаются, но при этом относительное содержание белка максимально при использовании биоудобрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шайхутдинов Ф.Ш. Эффективность применения бактериальных удобрений Азотовит и Бактофосфин на серых лесных почвах Республики Татарстан // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2013. № 3 (23). С. 29–34.
2. Терещенко Н.Н. Биоудобрения на основе микроорганизмов: учебное пособие. Томск: Томский государственный университет. 2003. 60 с.
3. Шукин В.Б. Физиология и биохимия растений: словарь терминов и понятий. Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет. 2013. 144 с.
4. Сытников Д.М. Биотехнология микроорганизмов-азотфиксаторов и перспективы применения препаратов на их основе // *Biotechnologia Acta*. 2012. Т. 5. № 4. С. 34–45.
5. Клещев Н.Ф. Агробиотехнология: Биологическая фиксация молекулярного азота: учебное пособие. Харьков: НТУ «ХПИ». 2014. 168 с.
6. Hoffman V.M., Lukoyanov D., Yang Z.-Y., Dean D.R., Seefeldt L.C. Mechanism of nitrogen fixation by nitrogenase: The next stage // *Chemical Reviews*. 2014. № 114, pp. 4041–4062.
7. Эмер Н.Р. Структурно-функциональные особенности групп микроорганизмов цикла азота в почвах с длительным применением минеральных удобрений. Дисс... канд. биол. наук. Москва. 2016. 136 с.
8. Фауст Е.А. Сельскохозяйственная биотехнология: краткий курс лекций. Саратов: Саратовский ГАУ. 2016. 76 с.
9. Shridhar V.S. Review: Nitrogen Fixing Microorganisms // *International Journal of Microbiological Research*. 2012. № 3 (1), pp. 46–52.
10. Сова В.В., Кусайкин М.И. Выделение и очистка белков. Владивосток: Дальневосточный ун-т. 2006. 42 с.
11. Пасынский А.М. Химия белка. М.: Изд-во иностранной литературы. 2002. 358 с.
12. Медведева А.Н. Методы биохимических исследований // *Вопросы медицинской химии*. 2001. № 4. С. 426–438.
13. Абрамова З.И. Исследование белков и нуклеиновых кислот. Казань: Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина. 2006. 162 с.
14. Семак И.В., Зырянова Т.Н., Губич О.И. Биохимия белков. Минск: БГУ. 2007. 67 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ОРЛОВ Владимир Владимирович – аспирант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: v.v.orlov95@gmail.com

ОЖИМКОВА Елена Владимировна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры биотехнологии, химии и стандартизации, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: eozhimkova@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Орлов В.В., Ожимкова Е.В. Биологическая азотфиксация и ее значение для ранних этапов развития льна культурного // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 2 (14). С. 67–74.

**BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION AND ITS SIGNIFICANCE
FOR THE EARLY STAGES OF THE DEVELOPMENT OF FLAX**

V.V. Orlov, E.V. Ozhimkova
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. In the conditions of modern agriculture, the provision of plants with various types of nutrition continues to be one of the most important factors in regulating the productivity of agricultural crops. The presented work is devoted to the study of the influence of various sources of nitrogen nutrition on the early stages of the development of cultural flax. The effect of nitrogen fixation on protein accumulation in the aboveground and root parts of the plant has been studied.

Keywords: biological nitrogen fixation, nitrogen fixers, nitrogen fixation mechanism, bacterial fertilizers, flax.

REFERENCES

1. Shaikhutdinov F.S. Efficiency of application of bacterial fertilizers Azotovit and Bactophosphine on gray forest soils of the Republic of Tatarstan. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2013. No. 3 (23), pp. 29–34 (In Russian).
2. Tereshchenko H.N. Bioudobreniya na osnove mikroorganizmov: uchebnoe posobie [Biofertilizer based on microorganisms: a textbook]. Tomsk: Tomskij gosudarstvennyj universitet. 2003. 60 p.
3. Shchukin V.B. Fiziologiya i biohimiya rastenij: slovar' terminov i ponyatij [Physiology and biochemistry of plants: dictionary of terms and concepts]. Orenburg: Orenburgskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. 2013. 144 p.
4. Sytnikov D.M. Biotechnology of nitrogen-fixing microorganisms and prospects for the use of drugs based on them // *Biotechnologia Acta*. 2012. Vol. 5. No. 4, pp. 34–45. (In Russian).
5. Kleshchev N.F. Agrobiotekhnologiya: Biologicheskaya fiksaciya molekulyarnogo azota: uchebnoe posobie [Agrobiotechnology: Biological fixation of molecular nitrogen: textbook]. Har'kov: NTU «HPI». 2014. 168 p.
6. Hoffman B.M., Lukoyanov D., Yang Z.-Y., Dean D.R., Seefeldt L.C. Mechanism of nitrogen fixation by nitrogenase: The next stage. *Chemical Reviews*. 2014. No. 114, pp. 4041–4062.
7. Emer N.R. Structural and functional features of groups of microorganisms of the nitrogen cycle in soils with prolonged use of mineral fertilizers. Cand. Diss. (Biol.). Moscow. 2016. 136 p. (In Russian).
8. Faust E.A. Sel'skohozyajstvennaya biotekhnologiya: kratkij kurs lekcij [Agricultural biotechnology: a short course of lectures]. Saratov: Saratovskij GAU. 2016. 76 p.
9. Shridhar B.S. Review: Nitrogen Fixing Microorganisms. *International Journal of Microbiological Research*. 2012. No. 3 (1), pp. 46–52.

10. Sova V.V., Kusajkin M.I. Vydelenie i ochistka belkov [Isolation and purification of proteins]. Vladivostok: Dal'nevostochnyj un-t. 2006. 42 p.
11. Pasynskij A.M. Himiya belka [Protein chemistry]. Moscow: Izd-vo inostrannoj literatury. 2002. 358 p.
11. Medvedeva A.N. Methods of biochemical research. *Questions of medical chemistry*. 2001. No. 4, pp. 426–438. (In Russian).
12. Abramova Z.I. Issledovanie belkov i nukleinovyh kislot [Study of proteins and nucleic acids]. Kazan: Kazanskij gosudarstvennyj universitet im. V.I. Ul'yanova-Lenina. 2006. 162 p.
14. Semak I.V., Zyryanova T.N., Gubich O.I. Biohimiya belkov [Biochemistry of proteins]. Minsk: BGU. 2007. 67 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ORLOV Vladimir Vladimirovich – Postgraduate Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: v.v.orlov95@gmail.com

OZHIMKOVA Elena Vladimirovna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: eozhimkova@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Orlov V.V., Ozhimkova E.V. Biological nitrogen fixation and its significance for the early stages of the development of flax // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 2 (14), pp. 67–74.

УДК 667.64:678.026

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МОДИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОТКАНИ

В.И. Столяренко, В.И. Ольшанский

УО «Витебский государственный технологический университет» (г. Витебск)

© Столяренко В.И., Ольшанский В.И., 2022

Аннотация. В статье рассмотрены элементы технологии и способы физической модификации полимеров. Разработаны рекомендации по подбору компонентов и отдельных элементов технологического процесса производства композиционного материала на основе стеклоткани с улучшенными механическими характеристиками. Представлены процессы и зависимости влияния свойств отдельных компонентов композита на механические свойства материала в целом. Выполнен анализ методов физической модификации полимеров, отобраны наиболее приемлемые варианты. Проведена их сравнительная характеристика, рассмотрена возможность их применения в