

кислотами из хвои пихты сибирской; «Альфастим», содержащий тритерпеновые кислоты; «НВ-101» (Япония, экспортер Россия), имеющий в составе вытяжки кипариса, гималайского кедра, сосны и подорожника; «Циркон» (Россия), изготовленный из эхинаеи пурпурной; «Агропон С» с комплексом биологически активных веществ и грибов эпифитов из женьшеня и облепихи (Украина).

В нашей стране на основе растительного сырья производится только несколько препаратов, обладающих иммуностимулирующим действием: «Экосил», ВЭ, «Экосил Микс», ВЭ, «Экосил Плюс», ВЭ (ЧПУП «ЧервеньАгро»), содержащие тритерпеновые кислоты из хвои пихты сибирской; «Экостим», ВК с тритерпеновыми

кислотами и L-аминокислотами (ООО «ШАУЭР ГРУПП»); «Мальтамин», Ж на основе органических веществ из ростков солода (ЗАО «Белнефлесорб»).

Разработка научных основ изготовления растительных экстрактов, обладающих антимикробными свойствами, – актуальная задача современной агробиотехнологии, решение которой позволит получить эффективные и экологически безопасные средства защиты растений нового поколения. **И**

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Санин С. С. Интенсификация производства зерна пшеницы, фитосанитария и защита растений в центральном районе России / С. С. Санин [и др.] // Агрохимия. 2020. №10. С. 36–44.
2. The global burden of pathogens and pests on major food crops / S. Savary [et al.] // Nature Ecology and Evolution. 2019. Vol. 3, №3. P. 430–439.
3. Plant Resistance Inducers against Pathogens in Solanaceae Species – From Molecular Mechanisms to Field Application / E. Alexandersson [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2016. Vol. 17, №10. P. 1–25.
4. Soundarya H. L. Plant Armor: Strengthening Natural Defense for Biotic Stresses / H. L. Soundarya, Akshata, Tejashwini // Just Agriculture. 2024. Vol. 4. №8. P. 253–259.
5. Join the green team: Inducers of plant immunity in the plant disease sustainable control toolbox / F. Zhu [et al.] // Journal of Advanced Research. 2024. Vol. 57, №2. P. 15–42.
6. Priming of plant resistance by natural compounds. Hexanoic acid as a model / P. Aranega-Bou [et al.] // Frontiers in Plant Science. 2014. Vol. 5. P. 1–12.
7. Природные индукторы устойчивости растений к фитопатогенам: научные и практические аспекты применения / Л. Ф. Кабашникова [и др.] // Национальная академия наук Беларуси, Институт биофизики и клеточной инженерии. – Минск, 2021. – 58 с.
8. Plant Secondary Metabolites: The Weapons for Biotic Stress Management / J. M. Al-Khayri [et al.] // Metabolites. 2023. Vol. 13, №6. P. 1–37.
9. Plants as an alternative to the use of chemicals for crop protection against biotic threats: trends and future perspectives / A. O. Aremu [et al.] // European Journal of Plant Pathology. 2024. Vol. 170. P. 711–766.

Экологические, экономические и технологические преимущества микробных биотехнологий обуславливают все более широкое их применение в аграрной отрасли. Они становятся приоритетными в связи с такими глобальными процессами, как рост населения, изменение климата, истощение природных ресурсов. Общемировые тенденции свидетельствуют о значительном увеличении инвестиций в исследования и внедрение методов, позволяющих производить биопрепараты и добавки для повышения плодородия почв и продуктивности животных, борьбы с вредителями и болезнями растений и животных.

Микробные биотехнологии в сельскохозяйственном производстве



Александр Шепшелев, директор Института микробиологии НАН Беларуси, кандидат технических наук, доцент



Елена Болотник, заместитель директора по научной и инновационной работе, кандидат биологических наук



Зинаида Алещенкова, главный научный сотрудник, доктор биологических наук, профессор

По данным Международного союза по защите растений (ISPP), объем рынка биологических средств защиты растений в 2022 г. перешагнул отметку в 6 млрд долл., и прогнозируется его увеличение к 2030 г. до 15 млрд благодаря росту спроса на экологически чистые продукты. Согласно отчету FAO, биопрепараты способствуют снижению использования химических пестицидов на 30–50%, а микробные удобрения позволяют повысить урожайность зерновых культур на 10–20%. В странах Европы доля таких удобрений в общем объеме внесенных уже составляет около 15%, а в США – около 12%, что свидетельствует о растущем признании их эффективности.

Применение микроорганизмов содействует минимизации зависимости от химических удобрений и пестицидов, негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека, а также росту устойчивости агросистем к климатическим изменениям. В целом мировой рынок микробных биотехнологий для сельского хозяйства демонстрирует ежегодный рост около 12–15%, что подтверждает их важность и перспективность для аграрного сектора.

В Институте микробиологии НАН Беларуси более 50 лет выполняются исследования по созданию и внедрению микробных препаратов для различных отраслей народного хозяйства, в том числе агропромышленного комплекса. К таким разработкам относятся микробные удобрения, средства защиты растений (с 2022 г. данное направление развивается в ГНПО «Химический синтез и биотехнологии»), кормовые добавки, компоненты ветеринарных препаратов и др.

Микробные удобрения

Одним из самых захватывающих научных достижений в области растительно-микробного взаимодействия за последнее десятилетие стало установление того факта, что разнообразные и чрезвычайно активные эндофитные микробные сообщества не просто являются безучастными «пассажирами» растений, а играют важную роль в их росте, развитии и устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам [1]. Существуют различные механизмы стимуляции эндофитами процессов жизнедеятельности растения-хозяина: способности к фиксации атмосферного азота, синтезу сидерофоров, фитогормонов, ферментов, витаминов, осмопротекторов, сольюбилизации минералов, таких как фосфор, деструкции токсических веществ и др. [2].

Уникальные штаммы эндофитных бактерий могут быть использованы непосредственно для инокуляции семян, обработки вегетирующих растений, поскольку уменьшают негативное влияние стресс-факторов за счет активной колонизации внутренних тканей и последующего позитивного биохимического и физиологического воздействия.

Разработанный в Институте микробиологии на основе азотфиксирующего и фосфатсольюбилизирующего эндофитных бактериальных штаммов *Rahnella aquatilis* БИМ В-1916 Д и *Pseudomonas brassicacearum* БИМ В-1917 Д препарат «Грамисил» для предпосевной обработки семян (1 и 2 л/т семян) и растений озимой пшеницы по вегетации (4 л/га) обеспечивает увеличение урожая зерна на 5,2 ц/га (15%) и 4,7 ц/га (14%) соответственно (рис. 1).



Рис. 1. Влияние микробного препарата «Грамисил» на рост озимой пшеницы: А – контроль, В – опытная делянка

Рост спроса на растительные белки и экологически чистые продукты подстегивает увеличение посевных площадей под зернобобовые. Перспективная нетрадиционная культура для почвенно-климатических условий Беларуси – соя (*Glycine max* (L) Mer.). Это высокобелковое масличное растение в симбиозе с клубеньковыми бактериями обеспечивает накопление до 200 кг азота/га за сезон и является хорошим предшественником для зерновых. Чтобы снизить себестоимость дорогих семян и повысить рентабельность возделывания сои в условиях нашей страны, целесообразно использовать микробные препараты на основе эндофитных микроорганизмов. В Институте микробиологии разработан микробный инокулянт на основе азотфиксирующего ризобияльного *Bradyrhizobium japonicum* БИМ В-743 и фосфатсольюбилизирующих неризобияльных эндофитных бактерий сои *Agrobacterium tumefaciens* БИМ В-1315Г и *Pseudomonas brassicacearum* БИМ В-1228 Д, эффективный как для обработки семян, так и вегетирующих растений (рис. 2).

Он обеспечивает увеличение зеленой массы до 17%, количества стручков – до 83%, зерен – до 50%.

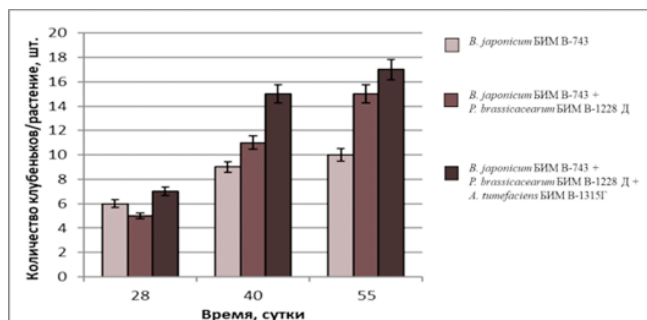


Рис. 2. Влияние обработки семян сои микробным инокулянтom на нодулирующую способность растений (в условиях светокультуры)

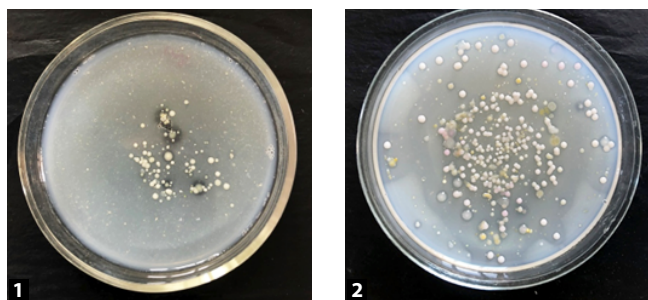


Рис. 3. Влияние обработки семян рапса микробным препаратом «Бактопин» (4 л/т) на микробное сообщество фосфатсольбилизирующих бактерий ризосферы (фаза плодообразования, разведение 10–5): 1 – фосфатсольбилизирующие микроорганизмы ризосферы растений рапса, семена которых обработаны микробным препаратом «Бактопин»; 2 – контроль без обработки

Естественные представители микробиоты внутри растений – ризобияльные и неризобияльные эндифиты, благодаря чему обработка ими семян и вегетирующих растений позволяет получить экологически чистую продукцию.

Рапс – важная и коммерчески значимая для республики масличная культура. В связи с тем, что она требовательна к азотному и фосфорному питанию, уровень содержания этих элементов в верхней части пахотного слоя можно увеличить путем

внесения микробного препарата «Бактопин», содержащего азотфиксирующий штамм бактерий *Rahnella aquatilis* БИМ В-704Д, фосфатсольбилизирующий бактериальный штамм *Pseudomonas putida* БИМ В-702Д и арбускулярные микоризные грибы рода *Glomus*.

Как предпосевная обработка семян (4 л/т семян), так и внесение препарата в процессе вегетации растений (4 л/га) повышают общую биогенность ризосферы культуры в среднем в 1,7 раза (рис. 3); у озимого рапса продуктивность увеличивается на 15,7%, у ярового – на 10,6%.

В последнее время внимание ученых привлекают микроорганизмы, продуцирующие брассиностероиды (стероидные фитогормоны), необходимые для нормального роста и развития сельскохозяйственных культур, а также их адаптации к биотическим и абиотическим стрессам, перспективные для создания микробных препаратов, стимулирующих рост растений и повышающих их стрессоустойчивость. В литературе описаны только 2 случая образования брассиностероидов у микроорганизмов – у *Streptomyces* spp. и у морских бактерий. Сотрудниками Института микробиологии и Института биоорганической химии НАН Беларуси впервые установлена способность к продуцированию брассиностероидов у 3 выделенных солеустойчивых бактерий: *Priestia megaterium* БИМ В-1314 Д, *Rhodococcus jostii* БИМ В-1353 Д и *Pseudomonas koreensis* ФП2/1. Штаммы обладают комплексом уникальных свойств: сольбилизируют фосфат кальция, образуют осмопротекторы – пролин и бетаин, синтезируют фитогормоны, индолил-3-уксусную кислоту (ИУК), обладают азотфиксирующей активностью, засухоустойчивостью, а также невосприимчивостью к углеводородам нефти и ионам тяжелых металлов.

Данные штаммы планируется использовать для разработки биотехнологий получения микробных препаратов, обеспечивающих адаптацию сельскохозяйственного производства к условиям ресурсных ограничений и изменяющегося климата.

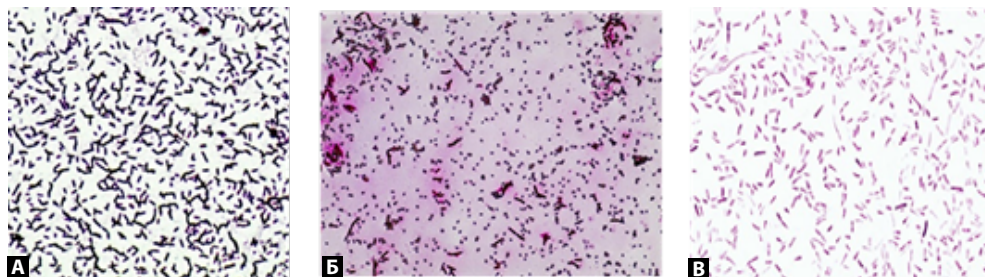


Рис. 4. Вид клеток (увеличение в 1000 раз) штаммов *P. megaterium* БИМ В-1314 Д (а) и *R. jostii* БИМ В-1353 (б), *P. koreensis* ФП2/1 (в)

Микробные кормовые добавки

Качественная кормовая база – важнейший элемент современного интенсивного животноводства. В структуре себестоимости продукции доля кормов при производстве молока составляет 50–55%, говядины – 65–70%, свинины – 70–75%.

Пробиотические кормовые добавки – неотъемлемая часть рационов животных и птицы – призваны улучшать качество и конкурентоспособность сельскохозяйственной продукции, повышать эффективность производства. Пробиотики в составе кормов играют важную роль для здоровья животных, укрепляют их иммунитет, увеличивают перевариваемость кормов, снижают потребность в антибиотиках. В Институте микробиологии разработан ряд новых пробиотических составов на основе активных штаммов молочнокислых бактерий и бифидобактерий, выделенных из природных источников, а также полученных путем селекции по признакам устойчивости к желчи, кислотам, продукции биологически активных веществ, ферментов.

Кормовая добавка «Полтрибак» содержит лиофильно высушенные клетки молочнокислых бактерий и бифидобактерий, обладающие антимикробной активностью по отношению к возбудителям сальмонеллеза. Эффективность бактериальной добавки при экспериментальном заражении птицы сальмонеллами составила 60%. При использовании средства отмечено повышение среднесуточного прироста по периодам выращивания на 4,9%, живой массы цыплят – на 4,8%, снижение затрат корма – на 4,5%, увеличение индекса эффективности – на 32%.

В состав кормовой добавки «Румибакт» входят пропионовокислые бактерии – природные компоненты рубцового содержимого молочных и мясных животных, способные утилизировать молочную кислоту и тем самым содействовать снижению риска возникновения ацидозов. Использование средства в составе комбикормов повышает молочную продуктивность на 3,6% в сравнении с контролем, в пересчете на базисную жирность – на 7,0%, а также жирно- и белкомолочность – на 0,12% и 0,08% соответственно. При этом в молоке снижается уровень соматических клеток на 10,0%, оно характеризуется отличным вкусом и запахом, соответствующим сорту «Экстра».

Многофункциональная кормовая добавка «Альфа-лактим», сочетающая свойства фермента и пробиотика, применяется в составе кормов с высоким уровнем α -галактозидов для свиней. Лизофи-

лизованные клетки молочнокислых бактерий, продуцирующие α -галактозидазы, обеспечивают гидролиз трудноусвояемых поли- и олигосахаридов с $\alpha(1\rightarrow6)$ -гликозидными связями (галактоманнаны, мелибиоза, раффиноза, стахиоза, вербаскоза) бобовых и бобово-злаковых растений до моносахаров, их усвоение и использование организмом в качестве источника энергии, ограничивая поступление олигосахаридов в толстый кишечник в нерасщепленном виде, где они подвергаются анаэробному бактериальному гидролизу с образованием газов. Применение добавки способствует увеличению живой массы животных на 4,5%, среднесуточного прироста – на 11,4%, снижению затрат корма на 1 кг прироста живой массы – на 11,5%.

Кормовая добавка «Металактим» – бесклеточный фильтрат выращенных в жидкой питательной среде пробиотических бактерий, содержит продукты метаболизма и клеточные компоненты гомо- и гетероферментативных молочнокислых и пропионовокислых бактерий. Обладает пребиотическим эффектом и антимикробной активностью по отношению к грамположительным и грамотрицательным бактериям, мицелиальным и дрожжевым грибам, вызывающим заболевания животных и порчу кормов. Выпаивание телят добавкой способствует увеличению их живой массы на 4,9%, среднесуточного и абсолютного приростов – на 12,5% в сравнении с контролем.

Кормовые добавки на основе активных дрожжевых грибов

Одно из наиболее перспективных решений в обеспечении полноценного и сбалансированного питания животных – использование добавок, содержащих активные (живые) дрожжи. Включение их в рацион способствует нормализации микрофлоры желудочно-кишечного тракта, предотвращает пищеварительные расстройства, снижает риск инфекционных заболеваний. Это, в свою очередь, укрепляет иммунную систему, развивает стрессоустойчивость, улучшает репродуктивные показатели и общее состояние животных. Применение добавок сопровождается экономическим эффектом, который обусловлен увеличением продуктивности, сохранности поголовья и совершенствованием качества животноводческой продукции. Кроме того, препараты повышают усвояемость кормов, минимизируют их расход и уменьшают объем навоза, что поддерживает экологическую устойчивость регионов с интенсивным животноводством [3–5].

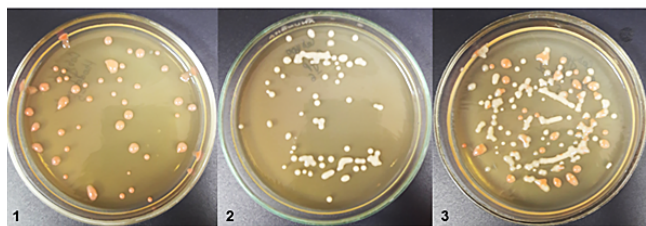


Рис. 5. Дрожжевые грибы *Rhodotorula species* (1), *Cryptococcus flavescentis* (2) и их консорциум в кормовой добавке «Полиэкт» (3)

Объем выпуска кормовых добавок на основе активных дрожжей (преимущественно различные штаммы *Saccharomyces cerevisiae*) увеличивается на 5–10% ежегодно. Наиболее известны на мировом рынке продукты зарубежных производителей – LALLEMAN D Inc. и ALLTECH, (США); BIOTAL (Великобритания); ANGEL YEAST CO., LTD (Китай); Mg 2 MIX и LESAFFRE (Франция); Nature S. A. и Lliça de Vall (Испания) и др. Наиболее сложным по компонентному составу является «Естур» (YEASTURE) компании Cenzone Tech Inc. (США), содержащий живые клетки 3 штаммов дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и их метаболиты, а также пробиотики (*Lactobacillus acidophilus*, *L. casei* и *Streptococcus faecium*), экстракт дрожжевых клеточных стенок (смесь β -1,3- $\rightarrow$ 1,6-О-глюкана и маннанолигосахаридов) и ферменты микробного происхождения, гидролизующие структурные компоненты растительной клеточной стенки.

В Институте микробиологии НАН Беларуси на основе монокультуры живых дрожжей рода *Cryptococcus* разработаны первая в нашей стране кормовая добавка «КриптоЛайф», а затем с использованием специально подобранных штаммов дрожжевых грибов *Rhodotorula* sp. и *Cryptococcus flavescentis* – «Полиэкт» полифункционального действия в жидкой и сухой товарной форме, оказывающий пребиотическое, сорбционное, иммуномодулирующее, гепатопротекторное действие, повышающий среднесуточный прирост живой массы телят и цыплят-бройлеров на 6,5–12,1% при снижении расхода кормов на единицу продукции на 4–8%.

Препараты для силосования растительного сырья

Один из наиболее результативных и экологически безопасных способов снижения потерь и повышения качества и питательной ценности кормов при силосовании – использование биопрепаратов для направленного регулирования молочнокислого брожения.

Максимальное стимулирование этого процесса позволяет наиболее успешно трансформировать углеводы в молочную кислоту, минимизировать потери белка и других питательных веществ. В то же время в составе естественной эпифитной микрофлоры исходной растительной массы содержание молочнокислых бактерий часто недостаточно для протекания быстрой ферментации и получения качественного корма. Сократить потери при силосовании и повысить качество корма помогают многие приемы, в том числе внесение в зеленую массу биологических препаратов как один из наиболее эффективных и экологически безопасных способов.

В Институте микробиологии разработаны биопрепараты «Лаксил-М», «Лаксил-МС», «Лаксил-МС2» для улучшения качества и аэробной стабильности силосованных кормов из растительного сырья (кукуруза, злаковые травы, бобово-злаковые травосмеси и др.). Они представляют собой консорциумы на основе живых культур молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus*. В составе биоконсервантов выступают специально отобранные штаммы молочнокислых бактерий с высокой энергией роста и активностью кислотообразования, выделенные из растительной массы. Более того, бактерии обладают активностью ферментов, которые могут расщеплять сложные растительные углеводы, увеличивая их биодоступность.

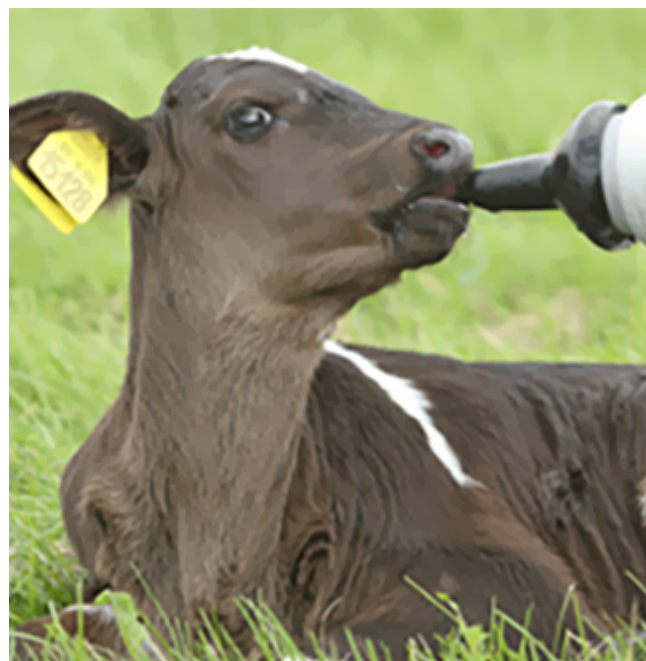


Рис. 6. Упрощенная схема получения рекомбинантной вакцины

Затраты на 1 т силоса при использовании отечественных биопрепаратов в 8–10 раз ниже по сравнению с сухими заквасками и на 20–80% – жидкими биоконсервантами импортного производства, а по своей эффективности им не уступают.

Микробные биотехнологии в диагностике и лечении заболеваний сельскохозяйственных животных

Инфекционные болезни рыб, в том числе бактериальной этиологии, наносят значительный ущерб рыбоводческим хозяйствам во всем мире, приводят к потере до 30% продукции в Китае, Индии и Вьетнаме. Перечень бактериальных возбудителей болезней очень широк и включает как грамотрицательные (*Aeromonas* spp., *Pseudomonas* spp., *Edwardsiella* spp., *Flavobacterium* spp., *Vibrio* spp., *Shewanella putrefaciens*), так и грамположительные (*Streptococcus* spp., *Mycobacterium* spp., *Lactococcus garvieae*) бактерии [6–8].

Важная роль в предотвращении распространения бактериозов отводится диагностике. Наиболее перспективный ее метод – полимеразная цепная реакция (ПЦР) с видоспецифичными праймерами, позволяющая обнаруживать патогены у рыб с явными клиническими признаками и скрытым бактерионосительством. Разработке методов ПЦР-детекции уделяется большое внимание в США, Китае, Турции, Испании, Греции и др.

Учитывая современные мировые тенденции, Институтом микробиологии НАН Беларуси совместно с Институтом рыбного хозяйства проведена молекулярно-генетическая идентификация наиболее распространенных в рыбоводческих хозяйствах Беларуси бактериальных патогенов и разработан основанный на высокоспецифичном и чувствительном ПЦР-анализе и не имеющий аналогов метод комплексной диагностики заболеваний рыб. Он характеризуется широким спектром выявляемых бактерий (9 видов), возможностью одновременной детекции нескольких патогенов, быстротой и высокой производительностью исследований, возможностью применения для исследования биологического материала особей с клиническими симптомами и без них на ранних стадиях заболевания с целью выявления бактериальных патогенов в водной среде и в рыбопосадочном материале для подбора эффективной терапии. Все это обуславливает снижение уровня гибели рыбы и повышение качества получаемой продукции.

Развитие биотехнологий в последние десятилетия открыло новые горизонты в профилактике инфекционных заболеваний животных. Одно из наиболее перспективных направлений – создание и применение рекомбинантных вакцин. Они, в отличие от традиционных, содержащих инактивированные или аттенуированные возбудители, разрабатываются с использованием методов генной инженерии, что позволяет точно контролировать состав и свойства антигенов. Это существенно снижает риск возникновения побочных реакций, повышает специфичность иммунного ответа и обеспечивает высокий уровень биобезопасности.

Рекомбинантные вакцины в животноводстве имеют ключевое значение для снижения экономических потерь, предотвращения зоонозных вспышек, поддержания продовольственной безопасности. Помимо эффективного излечения высококонтагиозных и экономически значимых заболеваний такие вакцины открывают путь к созданию мультивалентных препаратов, объединяющих несколько антигенов в одной формуле, что упрощает профилактические мероприятия и снижает затраты на их производство. Использование рекомбинантных вакцин в ветеринарной практике – важный шаг к безопасному предотвращению инфекционных заболеваний, что отвечает современным требованиям к биотехнологическим продуктам в аграрном секторе.

Учитывая актуальные тенденции в области вакцинопрофилактики, в Институте микробиологии разрабатываются генно-инженерные штаммы-продуценты иммуногенных антигенов, которые могут быть включены в рекомбинантные вакцины и соответствующие диагностические наборы.

С целью создания отечественной вакцины для специфической профилактики бактериальных энтеритов КРС в 2022 г. запатентован рекомбинантный штамм-продуцент субъединицы В термолabile токсина *Escherichia coli*. С использованием данного белка совместно с Институтом экспериментальной ветеринарии им. С. Н. Вышелесского разработана и зарегистрирована инактивированная эмульгированная вакцина «Колитокс-ЛТ» для профилактики колибактериоза и клебсиеллеза КРС. Колибактериоз (эшерихиоз) молодняка крупного рогатого скота – остро протекающая зоонозная болезнь, проявляющаяся септицемией, токсемией и энтеритом, обезвоживанием организма, поражением центральной нервной системы – причина значительных экономических потерь, связанных с отставанием телят в росте и развитии, их выбытием или падежом. Ежегодно ветеринарные диагностические учреждения

Беларуси проводят до 30 тыс. лабораторных исследований на эшерихиоз, около 35% приходится на долю молодняка КРС.

Создан рекомбинантный штамм-продуцент F1-белка респираторно-синцитиального вируса (РСВ) КРС, который используется в качестве компонента вакцины против данного инфекционного агента. РСВ КРС наносит серьезный экономический ущерб животноводству за счет снижения скорости роста животных, затрат на лечение, диагностические и профилактические мероприятия. Наиболее эффективна в деле предотвращения заболевания, особенно у молодняка, безусловно, вакцинация.

Одно из важных направлений современной вакцинологии – биотехнологическое получение вакцин на основе нуклеиновых кислот. Учеными Института микробиологии сконструирован бактериальный штамм-носитель универсальной генетической конструкции, необходимой для быстрого создания мРНК-вакцин человека и животных против различных инфекционных патогенов, при использовании которого разработан прототип мРНК-вакцины против РСВ КРС. Предварительные исследования на мышах продемонстрировали его иммуногенные свойства, что свидетельствует о возможности дальнейшего практического применения вакцины.

Изыскания в области микробных биотехнологий для сельского хозяйства – наиболее перспективное направление современной агробиотехнологии, а работы белорусских ученых в данном поле ведутся на самом высоком уровне в русле мировых тенденций. 

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Liu H. Inner Plant values: diversity, colonization and benefits from endophytic bacteria / H. Liu [et al.] // Front Microbiol. 2017. V. 8. P. 1–17.
2. Васильева Е.Н. Эндифитные микроорганизмы в фундаментальных исследованиях и сельском хозяйстве / Е.Н. Васильева [и др.] // Экологическая генетика. 2019. Т. 17, №1. С. 19–32.
3. Лобанок А.Г. Дрожжи как основа биологически активных кормовых добавок про- и пребиотического действия / А. Г. Лобанок [и др.] // Вести НАН Беларуси. Сер. биол. наук. 2014. №1. С. 17–22.
4. Tian X. Effects of dietary yeast β -glucans supplementation on growth performance, gut morphology, intestinal *Clostridium perfringens* population and immune response of broiler chickens challenged with necrotic enteritis / X. Tian [et al.] // Animal Feed Science and Technology. 2016. Vol. 215. P. 144–155.
5. Effect of yeast *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on serum antioxidant capacity, mucosal sIgA secretions and gut microbial populations in weaned piglets / C. Zhu [et al.] // Journal of Integrative Agriculture. 2017. Vol. 16, N9. P. 2029–2037.
6. Mohd-Aris A. Live vaccines against bacterial fish diseases: a review / A. Mohd-Aris [et al.] // Veterinary World. 2019. Vol. 12(11). P. 1806–1815.
7. Irshath A. A. Bacterial pathogenesis in various fish diseases: recent advances and specific challenges in vaccine development / A. A. Irshath [et al.] // Vaccines (Basel). 2023. Vol. 11(2). Art. 470. Doi: 10.3390/vaccines11020470.
8. Austin B. Methods for the diagnosis of bacterial fish diseases / B. Austin // Marine Life Science & Technology. 2019. Vol. 1. P. 41–49.



Марина Мандрик-Литвинкович,
заведующий отраслевой лабораторией ГНПО «Химический синтез и биотехнологии», кандидат биологических наук, доцент



Эмилия Коломиец,
генеральный директор ГНПО «Химический синтез и биотехнологии», академик

Инновации в решении проблемы стабилизации фитосанитарного состояния агрозкосистем