

УДК: 615.324:595.3:619

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.385

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ХИТОЗАНА В ВЕТЕРИНАРИИ

Балыкина А.Б.* – канд. ветеринар. наук, доц. (ORCID 0000-0001-5373-4794); **Карпенко Л.Ю.** – д-р биол. наук, проф., зав. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0000-0002-2781-5993); **Киянчук М.В.** – асс. каф. биохимии и физиологии (ORCID 0009-0006-2884-9630); **Никонов И.Н.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-9495-0178)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

*andreeva-a-83@mail.ru

Ключевые слова: обзор, хитозан, мясная продуктивность, молочная продуктивность, иммунный статус

Keywords: overview, chitosan, meat productivity, dairy productivity, immune status

Финансирование: при поддержке: исследование выполнено при поддержке гранта российского научного фонда № 25-26-00175 Молекулярно-генетические механизмы формирования иммунитета и микробиома рубца у молодняка крупного рогатого скота под влиянием хитозана (<https://grant.rscf.ru/site/user/bids?role=master>)

Поступила: 25.06.2025

Принята к публикации: 26.08.2025

Опубликована онлайн: 15.09.2025



РЕФЕРАТ

Хитозан обладает рядом характеристик, которые делают его актуальным для применения в ветеринарии. Он обладает антибактериальными и противогрибковыми свойствами, что делает его перспективным средством для терапии и профилактики инфекций у животных. Это особенно важно в условиях возрастающей резистентности бактерий к традиционным антибиотикам. Хитозан способствует ускорению процесса заживления ран за счет стимуляции пролиферации фибробластов и ангиогенеза. Это делает его ценным компонентом для ветеринарных перевязочных материалов и мазей. Привлекательным является тот факт, что хитозан может стимулировать иммунную систему животных, что ассоциировано с повышением сопротивляемости различным инфекционным заболеваниям. Данный полисахарид может использоваться в качестве добавки к кормам для животных, способствуя улучшению пищеварения и абсорбции питательных веществ, а также снижению уровня холестерина и триглицеридов. Согласно ряду исследований хитозан и гели на его основе не обладают токсичностью. Добавление 3 л 15% раствора комплексной синергетической пребиотической добавки на 1 т кисломолочной продукции за счет бактериостатических свойств хитозана позволяет в 2–2,5 раза увеличить сроки хранения, сохранив при этом живыми кисломолочные бактерии, сама же продукция при этом приобретает лечебно-профилактические свойства. Анализ с использованием баз данных РИНЦ, Scopus, Web of Science, Library Genesis, Google Scholar, Cyberleninka показал, что

хитозан является перспективным для использования в животноводстве с целью улучшения молочной и мясной продуктивности. Несмотря на обширные данные о многочисленных преимуществах хитозана, недостаточно данных о вероятных побочных эффектах. Ограниченны так же данные о сочетанном применении хитозана с другими препаратами. Вышесказанное свидетельствует о необходимости проведения дальнейших исследований.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Хитозан, являющийся производным хитина, представляет собой полисахарид, который находит широкое применение в различных отраслях, включая животноводство. Исследования демонстрируют, что хитозан может положительно влиять как на мясную, так и на молочную продуктивность различных видов животных. Улучшение усвояемости кормов, состояния кишечника и иммунного статуса являются ключевыми факторами, способствующими этим эффектам. На фоне нарастающей антибиотикорезистентности хитозан привлекает внимание ещё и своими антибактериальными и фунгицидными свойствами. Хитозан обладает положительным зарядом, что позволяет ему связывать отрицательно заряженные жирные кислоты и желчные соли в кишечнике. Это препятствует их всасыванию в кровоток, что приводит к снижению уровня холестерина. Системы, состоящие из хитозана, обладают большим потенциалом в терапии инфекционных заболеваний. При кормлении животных рационом с высоким содержанием холестерина в течение 20 дней добавление 2–5% хитозана приводит к значительному снижению уровня холестерина в плазме крови на 25–30% без влияния на потребление пищи и рост. Данные ряда исследователей указывают на то, что хитозан и гели на его основе не обладают токсичностью. Однако, для дальнейшего подтверждения и оптимизации использования хитозана в животноводстве необходимы дополнительные исследования и клинические испытания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В период выполнения работы применялись аналитические методы исследований с использованием баз данных РИНЦ, Scopus, Web of Science, Library Genesis, Google Scholar, Cyberleninka. Для поиска

достоверной информации в наукометрических базах данных, которые используются для отслеживания цитируемости научных работ и получения информации об их авторах и изданиях применили следующие ключевые слова и фразы: «хитозан и молочная продуктивность», «хитозан и мясная продуктивность», «хитозан в ветеринарии», «хитозан+биохимические показатели».

Целью обзора был анализ и систематизация современных знаний о применении хитозана в животноводстве, так же его влияние на молочную и мясную продуктивность крупного рогатого скота. Ожидается, что на основе анализа данных о хитозане будут предложены новые идеи для терапии инфекционных заболеваний.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Хитозан был открыт Руже в 1859 году после нагревания хитина в щелочной среде. Несколько лет спустя Хоппе-Зиер назвал этот материал хитозаном.[1] Хитозан, встречающийся в природе, является катионным полимером, состоит из биополимеров, полученных путём деацетилирования хитина.[2] С химической точки зрения хитин является поли β -(1-4)-*N*-ацетил-D-глюкозамином с β (1→4)-связями. [3] Наличие амино- и гидроксильных групп делает хитозан привлекательным для применения, поскольку их можно модифицировать для улучшения определённых свойств этого биополимера. Среди химических процессов, улучшающих их свойства, можно выделить сшивание, прививочную сополимеризацию, карбоксиметилирование, этерификацию и этерирование как основные стратегии функционализации структуры хитозана. [4,5] Важной физико-химической характеристикой хитозана является степень деацетилирования (DDA) и молекулярный вес. DDA имеет влияние на все физико-химические свойства как молеку-

лярный вес, выкостность, растворимость. Продукты распада хитозана, в свою очередь, называемые хитоолигосахаридами, являются водорастворимыми, не оказывают цитотоксического действия на организмы, легко усваиваются в кишечнике и выводятся почками. Они обладают множеством биологических свойств, таких как снижение уровня холестерина, противораковая и иммуномодулирующая активность. [6]

Согласно ряду исследований, в том числе с применением в качестве биологических моделей морских свинок, лягушек, тканей нёба человека и слизистой оболочки носовой полости крыс, хитозан и гели на его основе не обладают токсичностью. Более того внутривенное хитозана (4,5 мг/кг/день в течение 11 дней) кро-

лика не привело к патологическим изменениям, по данным Carreño-Gómez В. и соавт. [6,7, 8]

Хитозан используется в различных отраслях промышленности, включая очистку сточных вод (удаление ионов металлов, красителей и в качестве мембраны для удаления загрязняющих веществ), пищевую промышленность (связывание жира и снижение уровня холестерина, пищевые добавки, упаковку и консерванты), сельское хозяйство (покрытие семян и удобрений, контролируемый сброс агрохимикатов), для регенерации тканей и заживления ран.[9,10] Особое внимания привлекают характеристики хитозана напрямую или косвенно влияющие на организм животного, что представлено в Таблице 1.

Таблица 1 – Свойства хитозана, оказывающие влияние на организм животного

Свойство	Влияние на организм/действие
Снижение уровня холестерина	Снижение уровня холестерина, особенно липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), может уменьшить риск развития атеросклероза и связанных с ним сердечно-сосудистых заболеваний у животных. [11]
Противомикробное и фунгицидное действие	Ингибирование роста <i>Streptococcus mutans</i> , <i>Candida albicans</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. choleraesuis</i> , <i>S. typhimurium</i> , <i>S. aureus</i> , <i>Propionibacterium acnes</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>A. Niger</i> , что потенциально может устранить дисбиоз при инфекционных болезнях. [4,12, 13, 14,15, 16]
Влияние на мясную продуктивность	Увеличение среднесуточного привеса поросят-отъемышей в два раза ($P < 0,05$).[17]
Влияние на молочную продуктивность	Увеличение надоев у лактирующих коров голштинской породы ($P = 0,02$). [17]
Стимулирующее действие на иммунную систему	Увеличение количества лейкоцитов и повышение активности фагоцитов, повышение уровня иммуноглобулинов и активности Т-клеток. [18]
Усиление усвоения (синергизм) витаминов и микроэлементов	Профилактика гипо- и авитаминозов. [19]

Хитозан обладает положительным зарядом, что позволяет ему связывать отрицательно заряженные жирные кислоты и желчные соли в кишечнике. Это препятствует их всасыванию в кровоток, что приводит к снижению уровня холестерина. Связывание желчных солей хитозаном приводит к их увеличенному выведению с калом. Поскольку желчные соли синтезируются из холестерина в печени, их потеря стимулирует печень к увеличению использования холестерина для их повторного синтеза, что снижает уровень холестерина в крови. Zhang и соавт. показали, что хитозан снижает усвоение пищевых жиров и холестерина в организме крыс при гиперхолестеринемии. [20] Sugaon и соавт. так же продемонстрировали эффективность хитозана в рацион крыс. Согласно их данным при кормлении рационом с высоким содержанием холестерина в течение 20 дней добавление 2–5% хитозана привело к значительному снижению уровня холестерина в плазме крови на 25–30% без влияния на потребление пищи и рост. [21] По данным метаанализа приведённого Moragu и соавт включение в рацион хитозана приводит к улучшению липидного профиля сыворотки крови и снижению факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний. [22]

Наночастицы хитозана (nanochitosan) обладают широким антимикробным спектром действия в отношении различных патогенных бактерий, нитчатых грибов и дрожжей. Эффективность противомикробного действия ионов серебра (I) и наночастиц фосфата серебра (SPNPs) в комплексах с гиалуроновой кислотой и хитозаном была оценена Chudobova и соавт. Их результаты указывают на наиболее высокое противомикробное свойство комплексов ионов серебра (I) и наночастиц серебра с хитозаном. Механизм антибактериального действия хитозана заключается в связывании с отрицательно заряженной клеточной стенкой бактерии, что приводит к изменению проницаемости клеточной оболочки, а затем прикрепляется к ДНК, подавляя её репликацию. Radyum Ikonu и соавт. показали эффек-

тивность наночастиц хитозана в отношении *Streptococcus mutans* и *Candida albicans*. [12, 14, 15] Lifeng Qi и соавт. в свою очередь доказали, что наночастицы хитозана, могут проявлять потенциальную антибактериальную активность в отношении *E. coli*, *S. choleraesuis*, *S. typhimurium* и *S. aureus*. [4] По данным, полученным Friedman и соавт. Наночастицы, синтезированные из хитозана и альгината, продемонстрировали прямую противомикробную активность *in vitro* в отношении *Propionibacterium acnes* — бактерии, ассоциированной с патогенезом акне. [13] По данным Liu и соавт. в сочетании с другими перевязочными материалами, такими как гидрогели, хитозан проявляет антибактериальные свойства, что способствует заживлению ран. Помимо противомикробной активности хитозан проявляет и фунгицидную. Однако Ling и соавт. отмечают, что *A. niger* оказался устойчив к хитозану. Только раствор хитозана и наночастицы, приготовленные из высокомолекулярного хитозана, могут подавить рост этого грибка. *Fusarium solan* по данным авторов чувствителен к хитозану. [23] Противомикробные свойства хитозана и его способность образовывать плёнку используются для сохранения фруктов и овощей после сбора урожая, обеспечивая противомикробную защиту и увеличивая срок хранения. [24] Присутствие хитозана в почве способствует симбиотическим взаимодействиям между растениями и микроорганизмами, как, например, в случае с микоризой. Хитозан также может улучшать метаболизм фруктов или растений, что способствует прорастанию и повышению урожайности. [25, 26]

Имеются публикации об использовании наночастиц хитозана в качестве носителя для доставки вакцин через слизистые оболочки против инфекционных и зоонозных заболеваний домашней птицы и свиней. [27] Большое количество активных функциональных групп в молекулярной цепи хитозана позволяет легко модифицировать хитозан структурно и химически для стимуляции иммунитета по

данным Gorbach VI и соавт. [28] Хитозан, модифицированный маннозой, используется для назальной доставки вакцин. [29]

Одной из уникальных биологических активностей хитозана является его способность индуцировать устойчивость к вирусным заболеваниям у растений ингибировать вирусные инфекции у животных и предотвращать развитие фаговых инфекций в зараженной культуре микроорганизмов. [30]

Исследования, подтверждающие стимулирующее действие хитозана на иммунную систему, а также его влияние на среднесуточный привес охватывают различные виды животных и методы применения. Ху и соавт. показали, что добавление хитозана в корма свиней приводит к значительному улучшению их иммунного статуса, в частности, авторы наблюдали увеличение количества лейкоцитов и повышение активности фагоцитов, что свидетельствует о стимуляции иммунной системы. Результаты их работы показали, что добавление хитозана в корм поросят-отъемышей в два раза увеличивает среднесуточный привес ($P < 0,05$) и повышает переваримость сырого протеина. [31] Лу и соавт. в своём исследовании установили, что добавление хитозана в корма кур-несушек улучшает их иммунный ответ. В частности, наблюдалось увеличение уровня антител и повышение активности макрофагов. Это исследование также показало снижение уровня смертности птиц, что косвенно свидетельствует о повышении их сопротивляемости инфекциям. [32] Gopalakannan, A. и соавт., проводя исследование по влиянию хитозана на *Cyprinus carpio* (каarp обыкновенный) показали, что внесение хитозана в корм укрепляет врождённую иммунную систему и повышает выживаемость рыб. [33] Эксперимент Тиу и соавт. показал, что добавление хитозана в рацион крупного рогатого скота оказывает влияние на гуморальный и клеточный иммунный ответ, повышая уровни иммуноглобулинов и активность Т-клеток. [18] Abdeltawab и соавт. оценивали действие хитозана на иммунный статус лабораторных мышей.

Было выяснено, что хитозан, введенный мышам, способствовал увеличению количества и активности естественных киллеров (NK-клеток) и повышению уровня цитокинов, что указывает на его иммуномодулирующие свойства. Однако не было выявлено какого-либо влияния препарата на вес животных. Изучением действия хитозана на мышиную модель также занимались Ghulam Mohyuddin и соавт. Их результаты демонстрируют, что хитозан обладает противовоспалительным действием и помогает переносить высокие температуры окружающей среды. Мышей подвергали тепловому стрессу (40 °C в день в течение 4 часов) в течение 14 дней подряд. Результаты показали, что в группах, которым перорально вводили хитозаном, выработка HSP70, TLR4, p65, TNF- α и IL-10 была подавлена на 1-й, 7-й и 14-й день по сравнению с группой, подвергшейся тепловому стрессу и не получавшей препарат. [34, 35] Paiva и соавт. в ходе исследования по влиянию повышения уровня потребления хитозана на переваримость питательных веществ, рубцовую ферментацию, показатели крови, использование азота, синтез микробного белка, а также на надой и состав молока у лактирующих коров голштинской породы, показали, что добавление хитозана в корма привело к улучшению их молочной продуктивности. По данным авторов хитозан изменяет ферментацию в рубце и повышает надой у лактирующих коров. [17]. Особое внимание привлекает к себе продукция, разработанная специалистами ООО «СОНАТ» (г. Н. Новгород). Так разработан универсальный «Хитозановый комплекс из природного сырья», запатентованный под товарным знаком DOCTOR NEPTUNO (свидетельство № 358931). Мономеры хитозана (N-ацетил-D- глюкозамин), входящие в состав продукции, выступают в роли строительного материала структурной основы соединительной ткани суставов. Добавление 3 л 15%-ного раствора комплексной синергетической пребиотической добавки на 1 т кисломолочной продукции за счет бактериостатических свойств хитозана позволяет в 2–

2,5 раза увеличить сроки хранения, сохранив при этом живыми кисломолочные бактерии, сама же продукция при этом приобретает лечебно-профилактические свойства. [11, 19]

На данный момент выпускается обширный спектр продукции, содержащей в своём составе хитозан в различных кон-

центрациях. В Таблице 2 представлены различные коммерческие биологически активные добавки, в состав которых входит хитозан. Наличие столь обширного спектра медицинской продукции содержащей хитозан стимулирует к разработке и выпуску ветеринарных препаратов.

Таблица 2 – Коммерческие биологически активные добавки, в состав которых входит хитозан

Торговое наименование	Производитель	Форма выпуска
«КСП-1»	ООО «СОНАТ»	Раствор (15%)
«HITABS»	ООО «СОНАТ»	Пастилки
«Хитозан-Эвалар»	Эвалар ЗАО	Таблетки (125 мг)
«Хитозан Форте»	Квадрат-С ООО	Таблетки (500 мг)
GLS «Хитозан»	Глобал Хэлфкеар ООО	Капсулы (240 мг)
«Хитозан»	Экко плюс ООО	Таблетки (450 мг)
«Now Chitosan»	NOW FOODS, LLC (США)	Капсулы (631 мг)
«Хитозан»	Химпитекторг Групп ООО	Порошок
"CHITOSAN"	ТД «Стоинг»ООО	Порошок
"CHITOSAN"	HiMedia Laboratories Pvt. Ltd. (Индия)	Порошок
«Хитозан»	ЕДАПРОФ	Порошок
«Хитозан Адванс»	ТД «Витаукт» ООО	Раствор для приёма внутрь

Можно отметить, что несмотря на наличие разнообразных форм выпуска хитозана, на данный момент на территории Российской Федерации выбор продукции для ветеринарного применения ограничен. Выше сказанное подтверждает необходимость дальнейшего исследования хитозана на животных моделях, с целью дальнейшего внедрения в сельское хозяйство. Актуальность так же обусловлена наличием данных, полученных различными исследователями, о положительном влиянии как на мясную, так и на молочную продуктивность различных видов сельскохозяйственных животных. На данный момент наилучшие показатели при применении в сельском хозяйстве демонстрирует продукция ООО «СОНАТ».

Несмотря на обширные данные о многочисленных преимуществах хитозана, недостаточно данных о вероятных побоч-

ных эффектах. Ограниченны так же данные о сочетанном применении хитозана с другими препаратами. В последнее время возрастает интерес к фаготерапии, однако известно, что хитозан препятствует заражению фагами бактерий. Вышесказанное свидетельствует о необходимости проведения дальнейших исследований.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Анализ научных публикаций позволил обобщить данные о влиянии препаратов, содержащих хитозан не только на молочную и мясную продуктивность животных, так же оценено его стимулирующее действие на ряд биологических моделей, что делает его перспективным для использования в животноводстве с целью улучшения продуктивности и сопротивляемости заболеваниям. Помимо прочего хитозан также может улучшать метаболизм фруктов или растений, что способствует прорастанию и повышению уро-

жайности. Хитозан представляет собой многообещающий и многофункциональный материал для использования в животноводстве. Его антимикробные, иммуномодулирующие и детоксикационные свойства делают его ценным инструментом для повышения резистентности и продуктивности сельскохозяйственных животных. Ингибирование роста ряда возбудителей бактериальных болезней животных может сделать хитозан привлекательным средством антимикробной терапии, однако ряд его особенностей ограничивают комбинированное применение с другими препаратами, к примеру, бактериофагами, поскольку хитозан препятствует инфицированию фагом бактерии. Однако, для дальнейшего развития и оптимизации его применения необходимы дополнительные исследования и клинические испытания, в том числе для оценки наличия вероятных нежелательных эффектов на организм животных. На данный момент показатели при применении в сельском хозяйстве демонстрирует продукция ООО «СОНАТ».

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ASPECTS OF CHITOSAN APPLICATION IN VETERINARY MEDICINE

Balykina A.B. – PhD of Veterinary Sciences, Assoc. Prof. (ORCID 0000-0001-5373-4794); **Karpenko L.Yu.** – D.Biol.sc. Professor (ORCID: 0000-0002-2781-5993); **Kiyanchuk M.V.** – assistant of the Department of Biochemistry and Physiology (ORCID:0009-0006-2884-9630); **Nikonov I.N.** – Cand.biol.sc. (ORCID: 0000-0001-9495-0178)

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

*andreeva-a-83@mail.ru

Financing: The work was carried out within the framework of the Russian Science Foundation grant 25-26-00175 Molecular genetic mechanisms of immunity formation and the rumen microbiome in young cattle under the influence of chitosan. ([https://](https://grant.rscf.ru/site/user/bids?role=master)

grant.rscf.ru/site/user/bids?role=master)

ABSTRACT

Chitosan has a number of characteristics that make it relevant for use in veterinary medicine. It has antibacterial and antifungal properties, which makes it a promising tool for the treatment and prevention of infections in animals. This is especially important in conditions of increasing bacterial resistance to traditional antibiotics. Chitosan accelerates the wound healing process by stimulating fibroblast proliferation and angiogenesis. This makes it a valuable component for veterinary dressings and ointments. It is attractive that chitosan can stimulate the immune system of animals, which is associated with increased resistance to various infectious diseases. This polysaccharide can be used as an additive to animal feed, contributing to improved digestion and absorption of nutrients, as well as lowering cholesterol and triglycerides. According to a number of studies, chitosan and gels based on it are not toxic. Despite the extensive data on the numerous benefits of chitosan, there is insufficient data on potential side effects. There is also limited data on the combined use of chitosan with other drugs. The above indicates the need for further research.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Thakur V.K., Thakur M.K. Recent advances in graft copolymerization and applications of chitosan: A review. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2014;2:2637–2652. doi: 10.1021/sc500634p
2. Abourehab, Mohammed A S et al. “Recent Advances of Chitosan Formulations in Biomedical Applications.” *International journal of molecular sciences* vol. 23,18 10975. 19 Sep. 2022, doi:10.3390/ijms231810975
3. Kaur S, Dhillon GS. The versatile biopolymer chitosan: potential sources, evaluation of extraction methods and applications. *Crit Rev Microbiol.* 2014;40(2):155-175. doi:10.3109/1040841X.2013.770385
4. Qi L, Xu Z, Jiang X, Hu C, Zou X. Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. *Carbohydr Res.* 2004 Nov

- 15;339(16):2693-700. doi: 10.1016/j.carres.2004.09.007. PMID: 15519328.
5. Rafique A., Mahmood Zia K., Zuber M., Tabasum S., Rehman S. Chitosan functionalized poly(vinyl alcohol) for prospects biomedical and industrial applications: A review. *Int. J. Biol. Macromol.* 2016;87:141–154. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.02.035.
6. Zhai, Xingchen et al. “The impact of chitooligosaccharides and their derivatives on the in vitro and in vivo antitumor activity: A comprehensive review.” *Carbohydrate polymers* vol. 266 (2021): 118132. doi:10.1016/j.carbpol.2021.118132
7. Carreño-Gómez B., Duncan R. Evaluation of the biological properties of soluble chitosan and chitosan microspheres. *Int. J. Pharm.* 1997;148:231–240. doi: 10.1016/S0378-5173(96)04847-8.
8. Ribeiro M.P., Espiga A., Silva D., Baptista P., Henriques J., Ferreira C., Silva J.C., Borges J.P., Pires E., Chaves P., et al. Development of a new chitosan hydrogel for wound dressing. *Wound Repair Regen.* 2009;17:817–824. doi: 10.1111/j.1524-475X.2009.00538.x.
9. Pramanik S., Sali V. Connecting the dots in drug delivery: A tour d’horizon of chitosan-based nanocarriers system. *Int. J. Biol. Macromol.* 2021;169:103–121. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.12.083.
10. Комиссарова Е.С. Исследование возможности применения комплексной синергетической пребиотической пищевой добавки на основе хитозана «КСП – 1» в сыроделии : выпускная квалификационная работа : направление подготовки 19.03.01 Биотехнология; профиль подготовки Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ; очной формы обучения / Е.С. Комиссарова ; науч. рук. Е. А. Абакумова. - Ставрополь, 2019. - 34 с.
11. Сулейманова Л. Р., Наставшева А. В., Махмудова А. Р., Габбасова И. И., Решетник О. А. ПРИМЕНЕНИЕ ХИТОЗАНА В ПИЩЕВОЙ И ДРУГИХ ПРОМЫШЛЕННОСТЯХ // Вестник науки. 2020. №1 (22). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-hitozana-v-pischevoy-i-drugih-promyshlennostyah> (дата обращения: 08.02.2025).
12. Chudobova, Dagmar et al. “Complexes of silver(I) ions and silver phosphate nanoparticles with hyaluronic acid and/or chitosan as promising antimicrobial agents for vascular grafts.” *International journal of molecular sciences* vol. 14,7 13592-614. 28 Jun. 2013, doi:10.3390/ijms140713592
13. Friedman AJ, Phan J, Schairer DO, Champer J, Qin M, Pirouz A, Blecher-Paz K, Oren A, Liu PT, Modlin RL, Kim J. Antimicrobial and anti-inflammatory activity of chitosan-alginate nanoparticles: a targeted therapy for cutaneous pathogens. *J Invest Dermatol.* 2013 May;133(5):1231-9. doi: 10.1038/jid.2012.399. Epub 2012 Nov 29. PMID: 23190896; PMCID: PMC3631294.
14. Husain S., Al-Samadani K.H., Najeed S., Zafar M.S., Khurshid Z., Zohaib S., Qasim S.B. Chitosan biomaterials for current and potential dental applications. *Materials.* 2017;10:602. doi: 10.3390/ma10060602.
15. Ikono, R., Vibriani, A., Wibowo, I. et al. Nanochitosan antimicrobial activity against *Streptococcus mutans* and *Candida albicans* dual-species biofilms. *BMC Res Notes* 12, 383 (2019). <https://doi.org/10.1186/s13104-019-4422-x>
16. Moreira Mdel R, Pereda M, Marcovich NE, Roura SI. Antimicrobial effectiveness of bioactive packaging materials from edible chitosan and casein polymers: assessment on carrot, cheese, and salami. *J Food Sci.* 2011 Jan-Feb;76(1):M54-63. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01910.x. Epub 2010 Nov 29. PMID: 21535694.
17. Paiva, P.G. & Jesus, Elmeson & Del Valle, Tiago & Almeida, Gustavo & Costa, Artur & Consentini, Carlos & Zanferari, Filipe & Takiya, Caio & Bueno, Ives & Rennó, Francisco. (2016). Effects of chitosan on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition of dairy cows. *Animal Production Science.* 57. 301-307. 10.1071/AN15329.
18. Li, Tiyu & Na, R. & Yu, P. & Shi, Binlin & Yan, Sumei & Zhao, Y. & Xu, Yuanqing. (2015). Effects of dietary supplementation of chitosan on immune and antioxidative function in beef cattle. *Czech Journal of Animal Science.* 60. 38-44. 10.17221/7910-

- CJAS.
- 19.Попова К.А. Исследование возможности применения комплексной синергетической пребиотической пищевой добавки на основе хитозана «КСП – 1» в технологии кисломолочных напитков : выпускная квалификационная работа : направление подготовки 19.03.01 Биотехнология ; профиль Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ; очной формы обучения / К.А. Попова ; науч. рук. Е. А. Абакумова. – Ставрополь, 2019. – 44 с.
 - 20.Zhang J, Liu J, Li L, Xia W. Dietary chitosan improves hypercholesterolemia in rats fed high-fat diets. *Nutr Res.* 2008 Jun;28(6):383-90. doi: 10.1016/j.nutres.2007.12.013. PMID: 19083436.
 - 21.Sugano M, Fujikawa T, Hiratsuji Y, Nakashima K, Fukuda N, Hasegawa Y. A novel use of chitosan as a hypocholesterolemic agent in rats. *Am J Clin Nutr.* 1980 Apr;33(4):787-93. doi: 10.1093/ajcn/33.4.787. PMID: 7361697.
 - 22.Moraru C, Mincea MM, Frandes M, Timar B, Ostafe V. A Meta-Analysis on Randomised Controlled Clinical Trials Evaluating the Effect of the Dietary Supplement Chitosan on Weight Loss, Lipid Parameters and Blood Pressure. *Medicina (Kaunas).* 2018 Dec 12;54(6):109. doi: 10.3390/medicina54060109. PMID: 30545156; PMCID: PMC6306953.
 - 23.Ing, Ling Yien et al. “Antifungal activity of chitosan nanoparticles and correlation with their physical properties.” *International journal of biomaterials* vol. 2012 (2012): 632698. doi:10.1155/2012/632698
 - 24.Gooday G.W. *Advances in Microbial Ecology.* Springer; Berlin/Heidelberg, Germany: 1990.
 - 25.Jiménez-Gómez CP, Cecilia JA. Chitosan: A Natural Biopolymer with a Wide and Varied Range of Applications. *Molecules.* 2020 Sep 1;25(17):3981. doi: 10.3390/molecules25173981. PMID: 32882899; PMCID: PMC7504732.
 - 26.Schisler DA, Slininger PJ, Behle RW, Jackson MA. Formulation of *Bacillus* spp. for Biological Control of Plant Diseases. *Phytopathology.* 2004 Nov;94(11):1267-71. doi: 10.1094/PHYTO.2004.94.11.1267. PMID: 18944465.
 - 27.Renu, Sankar and Gourapura J. Renukaradhya. “Chitosan Nanoparticle Based Mucosal Vaccines Delivered Against Infectious Diseases of Poultry and Pigs.” *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 8 (2020): n. pag.
 - 28.Gorbach VI, Krasikova IN, Luk'yanov PA, Loenko YN, Solov'eva TF, Ovodov YS, Deev VV, Pimenov AA. New glycolipids (chitooligosaccharide derivatives) possessing immunostimulating and antitumor activities. *Carbohydr Res.* 1994 Jul 4;260(1):73-82. doi: 10.1016/0008-6215(94)80023-5. PMID: 8062291.
 - 29.Jung SN, Kang SK, Yeo GH, Li HY, Jiang T, Nah JW, Bok JD, Cho CS, Choi YJ. Targeted delivery of vaccine to dendritic cells by chitosan nanoparticles conjugated with a targeting peptide ligand selected by phage display technique. *Macromol Biosci.* 2015 Mar;15(3):395-404. doi: 10.1002/mabi.201400352. Epub 2014 Nov 13. PMID: 25393207.
 - 30.Камская, В. Е. Хитозан: структура, свойства и использование / В. Е. Камская // Научное обозрение. Биологические науки. – 2016. – № 6. – С. 36-42. – EDN YHFBMF.
 - 31.Xu, Yuanqing & Shi, Binlin & Yan, Sumei & Li, Jiren & Li, Tianmu & Guo, Y. & Guo, X.. (2014). Effects of chitosan supplementation on the growth performance, nutrient digestibility, and digestive enzyme activity in weaned pigs. *Czech Journal of Animal Science.* 59. 156-163. 10.17221/7339-CJAS.
 - 32.Lu, Xinxin & Chang, Xinyu & Zhang, Haijun & Wang, Jing & Qiu, Kai & Wu, Shugeng. (2023). Effects of Dietary Rare Earth Chitosan Chelate on Performance, Egg Quality, Immune and Antioxidant Capacity, and Intestinal Digestive Enzyme Activity of Laying Hens. *Polymers.* 15. 1600. 10.3390/polym15071600.
 - 33.Gopalakannan, A. & Arul, Venkatesan. (2006). Immunomodulatory effects of dietary intake of chitin, chitosan and levamisole on the immune system of *Cyprinus carpio* and control of *Aeromonas hydrophila* infection in

ponds. *Aquaculture*. 255. 179-187. doi:10.1016/j.aquaculture.2006.01.012.

34. Abdeltawab, Ashraf & Ammar, Ahmed & El-Hofy, Fatma & Mohamed, Samah & Mesalamy, Eman. (2016). Effect of chitosan supplementation on immune response in mice. *benha veterinary medical journal*. VOL. 32, NO. 2: 206- 214

35. Ghulam Mohyuddin, Sahar & Qamar, Aftab & Hu, Canying & Chen, Sheng-Wei & Wen, Jia-ying & Liu, Xiao-xi & Ma, Xingbin & Yu, Zhi-chao & Yong, Yan-hong & Wu, Lian-Yun & Bao, Ming-Long & ju, Xianghong. (2021). Effect of chitosan on blood profile, inflammatory cytokines by activating TLR4/NF- κ B signaling pathway in intestine of heat stressed mice. *Scientific Reports*. 11. doi:10.1038/s41598-021-98931-8.

REFERENCES

1. Thakur V.K., Thakur M.K. Recent advances in graft copolymerization and applications of chitosan: A review. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2014;2:2637–2652. doi:10.1021/sc500634p
2. Abourehab, Mohammed A S et al. "Recent Advances of Chitosan Formulations in Biomedical Applications." *International journal of molecular sciences* vol. 23.18 10975. 19 Sep. 2022, doi:10.3390/ijms231810975
3. Kaur S, Dhillon GS. The versatile biopolymer chitosan: potential sources, evaluation of extraction methods and applications. *Crit Rev Microbiol.* 2014;40(2):155-175. doi:10.3109/1040841X.2013.770385
4. Qi L, Xu Z, Jiang X, Hu C, Zou X. Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. *Carbohydr Res.* 2004 Nov 15;339(16):2693-700. doi: 10.1016/j.carres.2004.09.007. PMID: 15519328.
5. Rafique A., Mahmood Zia K., Zuber M., Tabasum S., Rehman S. Chitosan functionalized poly(vinyl alcohol) for prospects biomedical and industrial applications: A review. *Int. J Biol. Macromol.* 2016;87:141–154. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.02.035.
6. Zhai, Xingchen et al. "The impact of chitoooligosaccharides and their derivatives on the in vitro and in vivo antitumor activity: A comprehensive review." *Carbohydrate*

polymers vol. 266 (2021): 118132. doi:10.1016/j.carbpol.2021.118132

7. Carreño-Gómez B., Duncan R. Evaluation of the biological properties of soluble chitosan and chitosan microspheres. *Int. J. Pharm.* 1997;148:231–240. doi: 10.1016/S0378-5173(96)04847-8.

8. Ribeiro M.P., Espiga A., Silva D., Baptista P., Henriques J., Ferreira C., Silva J.C., Borges J.P., Pires E., Chaves P., et al. Development of a new chitosan hydrogel for wound dressing. *Wound Repair Regen.* 2009;17:817–824. doi: 10.1111/j.1524-475X.2009.00538.x.

9. Pramanik S., Sali V. Connecting the dots in drug delivery: A tour d'horizon of chitosan-based nanocarriers system. *Int. J Biol. Macromol.* 2021;169:103–121. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.12.083.

10. Komissarova E.S. Study of the possibility of using a complex synergistic prebiotic food additive based on chitosan "KSP - 1" in cheese making: final qualification work: field of study 19.03.01 Biotechnology; profile of training Biotechnology of food products and biologically active substances; full-time education / E.S. Komissarova; scientific. head E. A. Abakumova. - Stavropol, 2019. - 34 p.

11. Suleimanova L. R., Nastavsheva A. V., Makhmudova A. R., Gabbasova I. I., Reshetnik O. A. APPLICATION OF CHITOSAN IN THE FOOD AND OTHER INDUSTRIES // *Bulletin of Science*. 2020. No. 1 (22). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-hitozana-v-pischevoy-i-drugih-promyshlennostyah> (date of access: 02/08/2025).

12. Chudobova, Dagmar et al. "Complexes of silver(I) ions and silver phosphate nanoparticles with hyaluronic acid and/or chitosan as promising antimicrobial agents for vascular grafts." *International journal of molecular sciences* vol. 14.7 13592-614. 28 Jun. 2013, doi:10.3390/ijms140713592

13. Friedman AJ, Phan J, Schairer DO, Champer J, Qin M, Pirouz A, Blecher-Paz K, Oren A, Liu PT, Modlin RL, Kim J. Antimicrobial and anti-inflammatory activity of chitosan-alginate nanoparticles: a targeted therapy for cutaneous pathogens. *J Invest*

- Dermatol. 2013 May;133(5):1231-9. doi: 10.1038/jid.2012.399. Epub 2012 Nov 29. PMID: 23190896; PMCID: PMC3631294.
14. Husain S., Al-Samadani K.H., Najeeb S., Zafar M.S., Khurshid Z., Zohaib S., Qasim S.B. Chitosan biomaterials for current and potential dental applications. *Materials*. 2017;10:602. doi: 10.3390/ma10060602.
15. Ikono, R., Vibriani, A., Wibowo, I. et al. Nanochitosan antimicrobial activity against *Streptococcus mutans* and *Candida albicans* dual-species biofilms. *BMC Res Notes* 12, 383 (2019). <https://doi.org/10.1186/s13104-019-4422-x>
16. Moreira Mdel R, Pereda M, Marcovich NE, Roura SI. Antimicrobial effectiveness of bioactive packaging materials from edible chitosan and casein polymers: assessment on carrots, cheese, and salami. *J Food Sci*. 2011 Jan-Feb;76(1):M54-63. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01910.x. Epub 2010 Nov 29. PMID: 21535694.
17. Paiva, P.G. & Jesus, Elmeson & Del Valle, Tiago & Almeida, Gustavo & Costa, Artur & Consentini, Carlos & Zanferari, Filipe & Takiya, Caio & Bueno, Ives & Rennó, Francisco. (2016). Effects of chitosan on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition of dairy cows. *Animal Production Science*. 57. 301-307. 10.1071/AN15329.
18. Li, Tiyu & Na, R. & Yu, P. & Shi, Binlin & Yan, Sumei & Zhao, Y. & Xu, YUANqing. (2015). Effects of dietary supplementation of chitosan on immune and antioxidant function in beef cattle. *Czech Journal of Animal Science*. 60. 38-44. 10.17221/7910-CJAS.
19. Popova K.A. Study of the possibility of using a complex synergistic prebiotic food additive based on chitosan "KSP - 1" in the technology of fermented milk drinks: final qualifying work: direction of training 19.03.01 Biotechnology; profile Biotechnology of food products and biologically active substances ; Full-time education / K.A. Popova; scientific hands E. A. Abakumova. – Stavropol, 2019. - 44 p.
20. Zhang J, Liu J, Li L, Xia W. Dietary chitosan improves hypercholesterolemia in rats fed high-fat diets. *Nutr Res*. 2008 Jun;28(6):383-90. doi: 10.1016/j.nutres.2007.12.013. PMID: 19083436.
21. Sugano M, Fujikawa T, Hiratsuji Y, Nakashima K, Fukuda N, Hasegawa Y. A novel use of chitosan as a hypocholesterolemic agent in rats. *Am J Clin Nutr*. 1980 Apr;33(4):787-93. doi: 10.1093/ajcn/33.4.787. PMID: 7361697.
22. Moraru C, Mincea MM, Frandes M, Timar B, Ostafe V. A Meta-Analysis on Randomised Controlled Clinical Trials Evaluating the Effect of the Dietary Supplement Chitosan on Weight Loss, Lipid Parameters and Blood Pressure. *Medicina (Kaunas)*. 2018 Dec 12;54(6):109. doi: 10.3390/medicina54060109. PMID: 30545156; PMCID: PMC6306953.
23. Ing, Ling Yien et al. "Antifungal activity of chitosan nanoparticles and correlation with their physical properties." *International journal of biomaterials* vol. 2012 (2012): 632698. doi:10.1155/2012/632698
24. Gooday G.W. *Advances in Microbial Ecology*. Springer; Berlin/Heidelberg, Germany: 1990.
25. Jiménez-Gómez CP, Cecilia JA. Chitosan: A Natural Biopolymer with a Wide and Varied Range of Applications. *Molecules*. 2020 Sep 1;25(17):3981. doi: 10.3390/molecules25173981. PMID: 32882899; PMCID: PMC7504732.
26. Schisler DA, Slininger PJ, Behle RW, Jackson MA. Formulation of *Bacillus* spp. for Biological Control of Plant Diseases. *Phytopathology*. 2004 Nov;94(11):1267-71. doi: 10.1094/PHYTO.2004.94.11.1267. PMID: 18944465.
27. Renu, Sankar and Gourapura J. Renukaradhya. "Chitosan Nanoparticle Based Mucosal Vaccines Delivered Against Infectious Diseases of Poultry and Pigs." *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 8 (2020): n. pag.
28. Gorbach VI, Krasikova IN, Luk'yanov PA, Loenko YN, Solov'eva TF, Ovodov YS, Deev VV, Pimenov AA. New glycolipids (chitoooligosaccharide derivatives) possessing immunostimulating and antitumor activities. *Carbohydr Res*. 1994 Jul 4;260(1):73-82. doi: 10.1016/0008-6215(94)80023-5. PMID: 8062291.

29. Jung SN, Kang SK, Yeo GH, Li HY, Jiang T, Nah JW, Bok JD, Cho CS, Choi YJ. Targeted delivery of vaccine to dendritic cells by chitosan nanoparticles conjugated with a targeting peptide ligand selected by phage display technique. *Macromol Biosci.* 2015 Mar;15(3):395-404. doi: 10.1002/mabi.201400352. Epub 2014 Nov 13. PMID: 25393207.
30. Kamskaya, V. E. Chitosan: structure, properties and use / V. E. Kamskaya // *Scientific review. Biological sciences.* - 2016. - No. 6. - P. 36-42. - EDN YHFBMF.
31. Xu, Yuanqing & Shi, Binlin & Yan, Sumei & Li, Jiren & Li, Tianmu & Guo, Y. & Guo, X.. (2014). Effects of chitosan supplementation on the growth performance, nutrient digestibility, and digestive enzyme activity in weaned pigs. *Czech Journal of Animal Science.* 59. 156-163. 10.17221/7339-CJAS.
32. Lu, Xinxin & Chang, Xinyu & Zhang, Haijun & Wang, Jing & Qiu, Kai & Wu, Shugeng. (2023). Effects of Dietary Rare Earth Chitosan Chelate on Performance, Egg Quality, Immune and Antioxidant Capacity, and Intestinal Digestive Enzyme Activity of Laying Hens. *Polymers.* 15. 1600. 10.3390/polym15071600.
33. Gopalakannan, A. & Arul, Venkatesan. (2006). Immunomodulatory effects of dietary intake of chitin, chitosan and levamisole on the immune system of *Cyprinus carpio* and control of *Aeromonas hydrophila* infection in ponds. *Aquaculture.* 255. 179-187. 10.1016/j.aquaculture.2006.01.012.
34. Abdeltawab, Ashraf & Ammar, Ahmed & El-Hofy, Fatma & Mohamed, Samah & Mesalamy, Eman. (2016). Effect of chitosan supplementation on immune response in mice. *benha veterinary medical journal.* VOL. 32, NO. 2: 206-214
35. Ghulam Mohyuddin, Sahar & Qamar, Aftab & Hu, Canying & Chen, Sheng-Wei & Wen, Jia-ying & Liu, Xiao-xi & Ma, Xing-bin & Yu, Zhi-chao & Yong, Yan-hong & Wu, Lian-Yun & Bao, Ming-Long & ju, Xianghong. (2021). Effect of chitosan on blood profile, inflammatory cytokines by activating TLR4/NF- κ B signaling pathway in intestine of heat stressed mice. *Scientific Reports.* 11. 10.1038/s41598-021-98931-8.