

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1024

EDN: GVBWDL

УДК 636.087.7



Обзорная статья

**ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ДРОЖЖЕЙ НА ПРИМЕРЕ
SACCHAROMYCES CEREVISIAE В РАЦИОНАХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ
(ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

К.С. Лазебник, Д.Б. Косян, Г.К. Дускаев, В.А. Рязанов

Аннотация

Обоснование. Фокус современного животноводства и кормопроизводства направлен на создание благоприятных условий и применение сбалансированного рациона, который включает в себя различные кормовые добавки, положительно влияющие на рост и развитие сельскохозяйственных животных и птицу. В качестве таковых значительное внимание привлекли дрожжи, что обусловлено полезным действием их клеточных компонентов и биологически активных соединений.

Цель. Обзор и анализ научных публикаций по применению различных форм дрожжей, а именно *Saccharomyces cerevisiae*, в качестве кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и птицы.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели был выполнен обзор научной литературы по исследуемой тематике, включая этапы поиска, отбора данных и их анализ.

Результаты. Дано краткое описание основных биоактивных компонентов дрожжевой клетки, которые считаются ответственными за благоприятное влияние на здоровье животных, оказывая воздействие на продуктивность, иммунный ответ, антиоксидантный статус, состояние рубца и кишечника. Так же большинство положительных эффектов связаны с их способностью модулиро-

вать микробиоту желудочно-кишечного тракта животных и птицы, стимулируя рост полезных бактерий и уменьшая колонизацию патогенами.

Заключение. Несмотря на большое количество данных, демонстрирующих положительное действие дрожжей, существуют ряд противоречий, которые не позволяют в полной мере оценить безопасность для организма, и, как следствие, рекомендовать использовать их в официально утвержденных рационах в промышленных масштабах. Данный аспект еще предстоит изучить, чтобы лучше понять и разобраться в эффектах и механизмах действия дрожжей и их компонентов.

Ключевые слова: *Saccharomyces cerevisiae*; дрожжи; кормовые добавки; животноводство; птицеводство; обзор

Для цитирования. Лазебник, К. С., Косян, Д. Б., Дускаев, Г. К., & Рязанов, В. А. (2025). Потенциал использования различных форм дрожжей на примере *Saccharomyces cerevisiae* в рационах сельскохозяйственных животных (обзор литературы). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(1), 564-592. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1024>

Scientific review

POTENTIAL USE OF DIFFERENT FORMS OF YEAST SUCH AS *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* IN AGRICULTURAL ANIMAL DIETS (REVIEW)

K.S. Lazebnik, D.B. Kosyan, G.K. Duskaev, V.A. Ryazanov

Abstract

Background. Modern animal breeding and fodder production aim to create favourable conditions and provide a balanced diet, including feed additives that positively affect the growth and development of farm animals and poultry. Yeast has gained attention due to the beneficial effects of its cellular components and biologically active compounds.

Purpose. Review and analysis of scientific publications on the use of various forms of yeast, namely *Saccharomyces cerevisiae*, as a feed additive for farm animals and poultry.

Materials and methods. To achieve the objective, we conducted a review of the scientific literature on the topic under study. This involved searching for evaluating, selecting and analyzing data.

Results. This review provides a brief description of the main bioactive components of yeast cells, which are believed to be responsible for the positive effects on animal health, including improved productivity, immune response, antioxidant status, and rumen and intestinal condition. These effects are largely attributed to the ability of yeast cells to modulate the microbiota of the gastrointestinal tract, promoting the growth of beneficial bacteria and reducing colonisation by pathogens.

Conclusion. Although there is a significant amount of data demonstrating the positive effects of yeast, contradictions exist that make it impossible to fully assess its safety for the organism. Therefore, it is not recommended for use in officially approved diets on an industrial scale until further studies have been conducted to better understand and dissect the effects and mechanisms of action of yeast and its components.

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae*; yeast; feed additives; animal husbandry; poultry farming; review

For citation. Lazebnik, K. S., Kosyan, D. B., Duskaev, G. K., & Ryazanov, V. A. (2025). Potential use of different forms of yeast such as *Saccharomyces cerevisiae* in agricultural animal diets (review). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(1), 564–592. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1024>

Введение

В современном животноводстве и кормопроизводстве особое внимание уделяется рационам, так как их сбалансированность является залогом достижения максимальной продуктивности и высокого качества получаемой продукции, что обеспечивается за счет введения кормовых добавок. В связи с этим в последние годы вырос интерес к их поиску и изучению. В качестве таковых стали внедрять живые организмы и их метаболиты, за счет процесса оптимизации применения органических добавок или новых ингредиентов, являющихся результатом биотехнологических процессов [72], снижая негативное влияние на организм (антибиотики, формирующие резистентность), но и на окружающую среду (снижение загрязнений в процессе производства) [1].

Одним из потенциальных вариантов выступают дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* и их компоненты, содержащие необходимые питательные элементы и выступающие в роли источников таких метаболитов, как аминокислоты, витамины и минералы благоприятно влияя на состояние животных и птицы [1; 7; 55]. Во многих исследованиях указывается, что дрожжи способствовали повышению производственных показателей за счет увеличения потребления корма, всасывания питательных веществ благодаря улучшению морфологических особенностей и влиянию на микробиом желудочно-кишечного тракта, и как следствие снижение смертности [7; 33; 55].

Исходя из вышесказанного, *целью* данного научного обзора стало обобщение известных исследований в данной области, подчеркивающих важность применения различных форм дрожжей *S. cerevisiae* в качестве кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и птицы. Кроме того, для облегчения понимания механизмов их действия представлено краткое описание структуры и основных компонентов дрожжевой клетки, которые считаются ответственными за благоприятное влияние на здоровье животных и их потенциальные механизмы действия в качестве кормовой добавки.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели были проанализированы и обобщены научные работы, посвященные использованию дрожжей *S. cerevisiae* в животноводстве и птицеводстве, раскрывающие основные достижения в указанной области отечественных и зарубежных исследователей. Большая часть научных публикаций представлены временным периодом 2014-2023 гг. Работы, опубликованные в более ранний период, включались в обзор лишь для обозначения приоритета ученого в исследовании или при отсутствии современных публикаций по определенному аспекту темы исследования.

Поиск научных статей был произведен по ключевым словам (дрожжи, кормовые добавки, *Saccharomyces cerevisiae*, животноводство, птицеводство) и их сочетаниям в научных библиографических базах. При оценке и отборе статей приоритет отдавали высокоцитируемым источникам. Кроме того, в выбранных публикациях были рассмотрены списки литературы с целью нахождения дополнительных релевантных источников информации.

1. Дрожжи и их химический состав

Дрожжи представляют собой одноклеточные микроорганизмы, являющиеся эукариотами, диаметром от 3 до 40 микрон. Дрожжевая клетка имеет сложное строение, отдельные ее структуры дифференцированы и специализированы для осуществления метаболических процессов [43; 54].

Основным компонентом, указанным в исследованиях, является клеточная стенка дрожжей поэтому имеет место разобрать ее состав. В основном она представлена полисахаридами (75-85%) и белками (15-25%) и имеет слоистую структуру (рисунок 1). Наружный слой представлен липопротеиновой мембраной, в которой в основном присутствуют гликопротеины (маннопротеины), образованные за счет ковалентной связи между белками и маннанами, а также имеется небольшое количество глюканопротеинов.

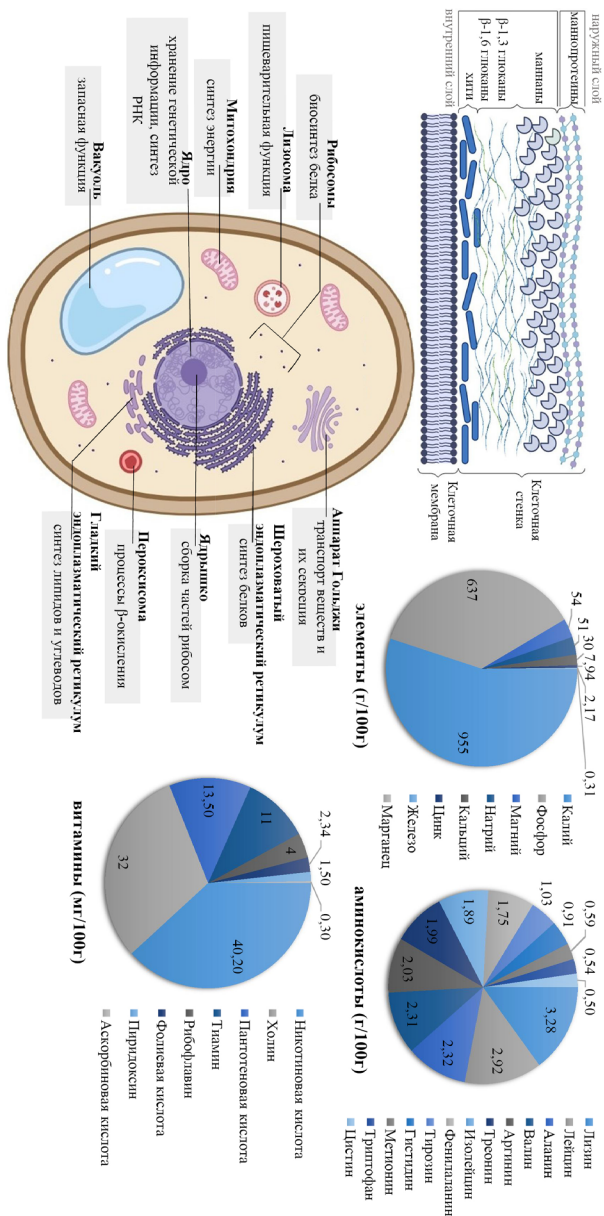


Рис. 1. Схематическое строение клетки, клеточной стенки и внутриклеточный состав дрожжей *S. cerevisiae*

Внутренний слой представлен полисахаридами - водорастворимыми маннанами, глюканами (полимер глюкозы, в котором молекулы соединены между собой β -1,3 и β -1,6 связями) и в значительно меньшей концентрации хитином (полимер N-ацетилглюкозамина). Маннаны вместе с хитином составляют около 90% массы клеточной стенки (сухое вещество). Однако количество полисахаридов зависит от вида дрожжей, так у *S. cerevisiae* количество основных полисахаридов маннанов и глюканов практически одинаково [44; 54; 60].

Внутриклеточный состав дрожжей включает различные компоненты макро- и микроэлементы, аминокислоты, витамины, фенольные кислоты, флавоноиды, каротиноиды и пептиды (рисунок 1) [24; 40; 84].

Данная информация использована с целью облегчения понимания механизмов действия указанных в исследованиях ниже.

2. Формы применения дрожжей

Спектр применяемых форм дрожжей достаточно разнообразен: от жизнеспособных дрожжевых клеток до очищенных компонентов клеточной стенки (Таблица 1) [52]. Из первичных культур дрожжей, которые проходят этапы размножения и ферментации, получают побочные продукты [66; 77].

Живые дрожжевые клетки могут быть инокулированы в специальную культуральную среду для их ферментации и затем высушены, в результате чего образуется культура дрожжей, содержащая широкий спектр продуктов метаболизма. Дрожжевые клетки также могут подвергаться процессу гидролиза или автолиза с получением дрожжевых лизатов, содержащие, как внутриклеточные фракции, так и фракции клеточных стенок. Однако внутриклеточные компоненты и углеводы клеточной стенки также могут быть обнаружены и в качестве отдельных компонентов в виде дрожжевого экстракта и продуктов клеточной стенки соответственно [52].

Сухие дрожжи могут быть использованы для обеспечения питательной ценности, в качестве различных добавок, таких как аминокислотные, витаминные и минеральные [52]. Остальные продукты могут попадать под определения про-, пре- и постбиотиков, установленных Международной научной ассоциацией пробиотиков и пребиотиков. Активные сухие дрожжи, состоящие из живых дрожжевых клеток, выступают в качестве пробиотика, то есть живые микроорганизмы, приносящие пользу хозяину при введении в адекватных количествах [34].

Таблица 1.

Формы дрожжей *S. cerevisiae* и процессы их получение

Начальный продукт	Процесс	Конечный продукт
Сухие дрожжи (обезвоженные первичные).	Сушка при высокой температуре целых дрожжевых клеток.	Биомасса мертвых дрожжевых клеток.
Активные сухие дрожжи (обезвоженные активные дрожжи или живые дрожжи).	Сушка целых дрожжевых клеток.	Живые дрожжевые клетки.
Культура дрожжей (дегидратированная культура или продукт ферментации <i>S. cerevisiae</i>)	Инокуляция живых дрожжевых клеток в специальную питательную среду с последующей контролируемой ферментацией и сушкой.	Биомасса дрожжей (включает жизнеспособные и мертвые клетки, фрагменты клеточной стенки, метаболиты ферментации, остаточную питательную среду)
Лизатные дрожжи (гидролизатные или автолизатные)	Гидролиз или автолиз дрожжевых клеток.	Витамины группы В, пептиды, аминокислоты, глутаминовая кислота, нуклеотиды, минералы, маннан-олигосахариды и β-глюканы.
Компоненты клеточной стенки дрожжей.	Центрифугирование после гидролиза или автолиза.	Маннан-олигосахариды и β-глюканы (смесь или отдельные компоненты)
Дрожжевой экстракт.		Витамины группы В, пептиды, аминокислоты, глутаминовая кислота, нуклеотиды, минералы.

Дрожжевые лизаты, экстракты и компоненты клеточной стенки, такие как маннанолигосахариды (МОС) и β-глюканы, могут считаться пребиотиками, то есть субстратами, избирательно используемыми микроорганизмами хозяина [28]. Их применение более обширно и в исследованиях сообщается об их пользе [57; 77]. Их роль в качестве пробиотика и пребиотика, определяется их воздействием на различные механизмы, такие как устранение патогенов с помощью микробного антагонизма, стимуляция иммунной системы животного, повышения активности ферментов бактерий [80]. Продукты ферментации *S. cerevisiae*, могут быть отнесены к постбиотикам, то есть препаратам из неживых микроорганизмов и/или их компонентов, оказывающих благоприятное влияние на организм хозяина [75].

3. Потенциальные механизмы действия дрожжей в качестве кормовой добавки

Все кормовые добавки необходимо использовать только в соответствии с основными требованиями, прописанными в нормативной документации по выращиванию сельскохозяйственных животных и птицы, предварительно оценивая потенциальные механизмы и эффекты их основных компонентов, которые в перспективе могут использоваться, как кормовые добавки в рационе. Данный тезис касается и дрожжей *S. cerevisiae*. Литературные данные свидетельствуют о том, что их использование в кормлении может оказывать действие на потребление, эффективность корма, усвояемость, продуктивность и другие важные показатели (рисунок 2) [26; 85].

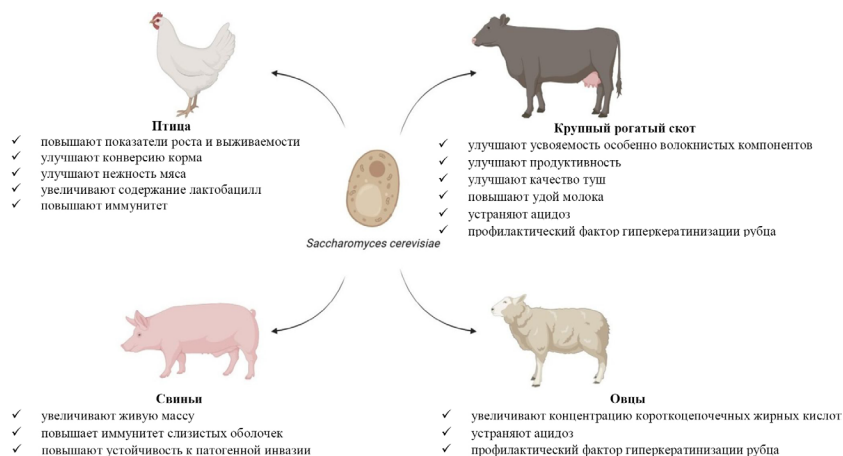


Рис. 2. Потенциальные механизмы действия дрожжей *S. cerevisiae* в качестве кормовой добавки в различных отраслях животноводства

3.1. Влияние на показатели продуктивности

Среди всей структуры дрожжевой клетки особое внимание стоит обратить на компоненты клеточной стенки. Так в исследовании [38] отмечается, что рационы, содержащие маннопротеин и β -глюкан, восстанавливают прирост массы тела и обеспечивают уникальную трансдукцию клеточных сигналов в кишечнике у птиц, пораженных некротическим энтеритом. Помимо этого, β -глюканы, повышают показатели роста и выживаемости [20]. МОС в целом положительно влияют на различные виды животных, в частности улучшая прирост массы тела и конверсию корма, снижая при этом смертность [79].

В экспериментах на птице высокие показатели прироста живой массы, коэффициента конверсии корма, переваримости белка, активности ферментов поджелудочной железы (трипсина и химотрипсина) и усвояемости белка отмечаются также при скормливании добавок, содержащих цельные дрожжи и их клеточные стенки [4; 5]. Причем данные показатели были выше при использовании последних, что может быть связано с более высоким содержанием в них полисахаридов [12]. При этом значимого влияния на потребление корма эти рационы не оказали [5]. Более того, есть исследования, в которых отмечается, что данные кормовые добавки влияют и на качество мяса, в частности, улучшая показатели его качества (нежность) у бройлеров [91].

Однако использование рационов, содержащих живые дрожжи и МОС, не влияли на продуктивность и качество мяса индеек, что может быть связано с различиями в породе используемых птиц, составе рациона, форме добавок, а также в возрасте птиц [42].

В свиноводстве при скормливании пороссятам живых дрожжей *S. cerevisiae* через 30 дней после отъема наблюдается увеличение живой массы и суточного прироста [11]. Однако при добавке МОС показатели роста поросят не показали какой-либо существенной разницы [61]. Причиной отсутствия статистически доказанных эффектов, способствующих росту могут быть более поздний возраст отъема и исключительно хорошие условия содержания [61].

Включение дрожжей в рацион бычков улучшает общую усвояемость питательных веществ в желудочно-кишечном тракте, особенно волокнистых компонентов рациона, без изменения пищевого поведения и увеличения показателей роста [65]. Результаты по скормливанию порошка культуры дрожжей *S. cerevisiae* показывают, что добавки могут умеренно улучшить продуктивность животных (рост, конверсию корма) [49, 3]. Противоположный результат был получен в исследовании [29], добавка, состоящая из активной и неактивной культуры (экстракт клеточной стенки) дрожжей не повлияли на суточный прирост, потребление корма и привес. Тем не менее, при включении продукта ферментации *S. cerevisiae* в готовый рацион на основе кукурузных хлопьев наблюдается улучшение качества туш говяжьих бычков [81].

Дрожжи и их компоненты также оказывают влияние и на лактационную продуктивность. Продукты ферментации дрожжей увеличивали концентрацию молочного жира, но в остальном это не влияли на надои молока в начале лактации [63].

Добавление живых дрожжей в рацион крупного рогатого скота оказывает существенное положительное влияние на удой молока, а также количество жира, белка, лактозы и сухих веществ молока, содержащихся в молоке [2; 35] в тоже время это, не повлияло на содержание жира [22]. Благотворное воздействие дрожжей на жвачных животных может быть объяснено микробиологической активностью за счет увеличения количества полезных бактерий в рубце животных. Напротив, в исследовании [74] живые *S. cerevisiae* не увеличивали выработку молока у коров. Аналогичное воздействие было отмечено и на продуктивность молочных овец в поздний период лактации [51]. В данном случае снижение реакции возможно связаны с высококонцентрированной диетой, периодом лактации и высокими температурами.

3.2. Модулирование микробиома желудочно-кишечного тракта

При современном производстве существует множество факторов, вызывающих стресс, что в результате может привести к дисбиозу и колонизации пищеварительного тракта сельскохозяйственных животных патогенами, создавая угрозу для здоровья животных и безопасности продуктов [21]. Таким образом дрожжи могут выступать в качестве биологической альтернативы для сбалансирования микробиома, что и было доказано в исследованиях, приведенных ниже, подтверждающих изменения в популяции бактерий в желудочно-кишечном тракте и, как следствие, некоторых метаболических параметров под действием дрожжей [21].

Продукты клеточной стенки дрожжей влияют на богатство видов и бактериальное разнообразие кишечника птицы [73]. Скармливание дрожжевых нуклеотидов цыплятам увеличивает разнообразие кишечной микробиоты и обилие лактобацилл [87]. Кроме того, дрожжевые добавки существенно улучшают микробную популяцию подвздошной кишки, увеличивая количество молочнокислых бактерий и уменьшая популяции кишечной палочки [40]. Аналогичная картина отмечена для содержимого слепой кишки на 42-й день, порошок клеточной стенки дрожжей имеет тенденцию к уменьшению колоний *E. coli* представителя условно-патогенной флоры [47].

Среди исследований на сельскохозяйственных животных выявлено, что факультативные анаэробные дрожжи, проявляют некоторую степень жизнеспособности и в рубце, влияя на ферментацию и популяции микробов [56]. Дрожжи могут влиять на микробиом рубца, захватывая кислород, токсичный для бактерий, тем самым улучшая среду для роста облигат-

ных анаэробных целлюлозолитических бактерий, повышая переваривание фракций клетчатки [14; 58]

Добавление живых дрожжей и МОС приводит к увеличению общей концентрации короткоцепочечных жирных кислот у крупного рогатого скота и овец [24; 25]. Тот же результат был получен в исследовании [62], изучая влияние гидролизovaných цельных дрожжей и клеточных стенок с использованием метода моделирования рубца. Механизмы действия, объясняющие более высокую концентрацию кислот, до конца не изучены, но, по-видимому, связаны с увеличением активности анаэробной микрофлоры [58]. Данный процесс усиления микробной ферментации полезен для обеспечения большего количества энергии, а также для поддержания и производственной активности организма жвачных [62].

У животных, получавших МОС наблюдается высокая концентрация изобутирата и валерата в рубце, получавших живые дрожжи наблюдается высокое значение изовалерата [24]. Это связано с тем, что добавление дрожжей может стимулировать рост амилолитических бактерий, которые преимущественно используют пептиды и аминокислоты из-за их протеолитической активности, что и приводит к более высоким концентрациям изокилот и валерата в рубце, образующихся при ферментации аминокислот [45].

Употребление легко ферментируемых углеводов приводит к снижению pH в рубце, в результате чего уменьшается его микробное разнообразие [90]. Количество видов бактерий, продуцирующих лактат, таких как *Streptococcus bovis*, может начать превосходить по численности виды *Megasphaera elsdenii* и *Selenomonas ruminantium*, ферментирующие его, вследствие чего, происходит накопление молочной кислоты, что играет ключевую роль в возникновении ацидоза, отрицательно влияющего на производственные показатели, а также на состояние здоровья животных [15]. При таких условиях наблюдается лизис чувствительных к низкому pH грамотрицательных бактерий с высвобождением эндотоксинов клеточной стенки липополисахаридов [31; 70]. Данные соединения токсичны для животных и могут вызывать местное воспаление, что повышает проницаемость стенки рубца и отрицательно влияет на желудочно-кишечный барьер, вызывая транслокацию липополисахаридов из желудочно-кишечного тракта в кровотоки [31].

Скармливание животным живых дрожжей, клеточной стенки и МОС приводит к снижению концентрации липополисахаридов в плазме и к стабилизации pH рубца [25; 46]. Уменьшение концентрации эндотоксина

можно объяснить способностью этих добавок адсорбировать бактериальные токсины, уменьшая их всасывание, за счет электростатического притяжения между их, положительно заряженными лигандами и отрицательно заряженными лигандами липополисахаридов [86]. Стабилизация pH рубца возможно связана со значительным увеличением частоты потребления животными корма с добавлением дрожжей [8] и со снижением концентрации молочной кислоты в рубце за счет повышенного роста бактерий *M. elsdenii* и *S. ruminantium* [15; 69]. Последнее связано с возможностью дрожжей обеспечивать важными компонентами, такими как дикарбоновые кислоты (особенно яблочная кислота), провитамины и микроэлементы, как молочнокислых и целлюлозолитических бактерии, так и простейших, способствуя их росту [16]. Таким образом, дрожжи и их компоненты играют двойную роль, связывая свободные липополисахариды и снижая их высвобождение, за счет стабилизации pH рубца [48; 86].

3.3. Иммуностимулирующий эффект

Дрожжевые добавки могут модулировать иммунную систему, защищая организм от посторонних веществ и от вторжения патогенов, и выступать в качестве профилактики заболеваний [21]. В данном случае важно рассматривать влияние дрожжевых клеток на различные типы иммунитета, как у животных, так и у птицы.

У цыплят, получавших 1,3-1,6 β -глюкан было значительно увеличено количество лейкоцитов и лимфоцитов, а количество эритроцитов существенно не отличалось [20]. Взаимодействие между лейкоцитами, которые находятся на передовой линии врожденной иммунной защиты, отвечающими за защиту от инфекции и поддерживающими восстановление поврежденных тканей в организме, и β -глюканом на практике основано на связывающей способности рецепторов распознавания образов (PRR), экспрессируемых на мембране лейкоцитов (особенно на макрофагах), и молекулярных паттернах, связанных с патогенами (PAMP), то есть молекулярных паттернах, которые экспонируются на клеточной мембране вторгающихся патогенов. Следовательно, β -глюканы действуют как PAMP, и как только они связываются с PRR, иммунные клетки активируются, вырабатывая каскад иммунных медиаторов, что усиливает иммунную систему [16].

В исследовании на поросятах, получавших концентрат живых *S. cerevisiae*, отмечается увеличение количества макрофагов в слизистой оболочке. Так как вирусным инфекциям в основном противодействуют ма-

крофаги, то это позволяет предположить, что при отсутствии каких-либо признаков патологических изменений в кишечнике компоненты врожденной защитной системы у этих животных могут быть более активными, начиная с ранних стадий, то есть эти поросята в большей степени защищены от вирусных инфекций [11].

Скармливание живых дрожжей может играть определенную роль в повышении сывороточного иммунитета. В исследовании [33] на 21-й день IgM и IL-4 были выше, на 42-й день уровни IgG были выше. Однако не было отмечено существенной разницы в отношении IgA и TNF- α . На увеличение титра IgG в сыворотке крови кур также оказывает включение в рацион 1,3-1,6 β -глюкана, при этом различий в отношении IgM и IgA не наблюдалось [20]. Более высокий уровень IgG в молозиве и молоке также был зафиксирован у свиноматок, которых кормили живыми дрожжами *S. cerevisiae* на более поздних сроках беременности [89]. Однако, у птиц, получавших клеточные стенки дрожжей, в отличие от предыдущих исследований, зафиксирован более высокий уровень сывороточного IgA, что может быть связано с полисахаридными компонентами, которые могут связываться с углеводными рецепторами, такими как лектины С-типа, дектин-1 и маннозный рецептор на поверхности В-клеток и макрофагов/дендритных клеток, и индуцировать активацию В-клеток и выработку антител [6].

Живые дрожжи также могут регулировать иммунный ответ путем увеличения экспрессии противовоспалительных цитокинов, таких как IL-1, IL-2, IL-4 и IL-6 [6; 33]. Также установлено, что и β -глюканы улучшают иммунологический ответ у кур, изменяя их цитокиновый профиль [64], которые активируют главный комплекс гистосовместимости и, впоследствии, моноциты и макрофаги [92].

Так же было обнаружено и благоприятное действие МОС, данные компоненты дрожжевых клеток в кишечнике изменяют экспрессию важнейших генов клеточного иммунологического ответа, включая 2-микроглобулин, лизоцим, люмикан, аполипопротеин А-1 и фибронектин, что подтверждает их иммуномодулирующий эффект на уровне транскрипции [88].

При добавлении в рацион дрожжей и/или их компонентов может наблюдаться увеличение иммунных органов, таких как бурса, тимус и селезенка, что также может отражаться и на относительном весе. Рост бursы играет жизненно важную роль в развитии и созревании В-лимфоцитов, а также в выработке специфических антител, а также увеличение этого органа может быть связано с возможными изменениями популя-

ции кишечных микроорганизмов, вызванными приемом дрожжевых добавок [33]. Порошок клеточной стенки дрожжей, как в крупной, так и в мелкой форме значительно увеличивал относительную массу бursы на 42-й день, но этот эффект не наблюдался на 21-й день, при этом относительная масса тимуса и селезенки не изменялась [47].

β -глюкан влияет на увеличение массы тимуса, синовиальной сумки и селезенки [92]. Аналогичные результаты наблюдались только для синовиальной сумки в исследовании [20], в то время как относительная масса селезенки не была затронута. Данный эффект может быть связан с тем, что β -глюкан стимулирует выработку клеток-предшественников в костном мозге, что приводит к увеличению потока новых иммунных клеток в различные лимфоидные органы по всему телу [36].

Дрожжи играют важную роль и в выработке антител после инъекции вакцины или даже в качестве адъюванта в ее составе, что было продемонстрировано в нескольких исследованиях. Так включение живых дрожжей *S. cerevisiae* и их клеточных стенок в рацион питания бройлеров может поддерживать титр антител и обеспечивать более высокий иммунитет против болезни [27; 33]. Помимо этого, живые дрожжи способны повышать титр антител к инфекционной бурсальной болезни [33], однако эти данные не были подтверждены в исследовании, в котором применялась комбинация клеточных стенок *S. cerevisiae* и экстракта *Spanish dagger* (*Yucca schidigera*) [31]. У вакцинированных цыплят дрожжевой компонент МОС также способствует усилению гуморального иммунного ответа и повышению титра антител против вируса птичьего гриппа [82]. Добавление птицам дрожжевых нуклеотидов может помочь вызвать более быстрый и сильный ответ антител на вакцину против вируса инфекционного бронхита, усиливая экспрессию генов, связанных с барьерной функцией кишечника [87].

Продукты ферментации дрожжей *S. cerevisiae* не влияли на показатели окислительного статуса, воспаления, врожденного или адаптивного иммунитета у здоровой группы молочного скота переходного возраста [78].

3.4. Воздействие на антиоксидантный статус

Производство активных форм кислорода является неизбежным следствием аэробного существования живых систем, поэтому существует физиологический нормальный уровень свободных радикалов, с которым справляется собственная антиоксидантная система защиты организма, включающая ферменты супероксиддисмутазу (СОД), каталазу (КАТ) [53; 71]. Также важным для оценки воздействия АФК является содержание

малонового диальдегида (МДА), являющегося признаком перекисного окисления липидов [76].

В исследовании [47] птицы получали рационы, содержащие клеточные стенки мелкого и крупного помола. В слизистой оболочке подвздошной кишки при скормливания дрожжей мелкого помола отмечается повышенная активность СОД на 21 день и снижение накопления МДА на 42 день, однако крупный помол не оказывал влияния ни на один из оцениваемых показателей. При этом в тощей кишке тенденцию к увеличению активности СОД имело включение клеточных стенок крупного помола на 21 день, а содержание МДА было одинаковым в обеих группах. При влиянии живых дрожжей *S. cerevisiae* на 42 сутки наблюдается схожая тенденция активности ферментов СОД и КАТ повышается, а значение МДА снижается, однако, на 21 день ни один из антиоксидантных параметров не показал различий между группами [33]. Схожие результаты были получены при изучении влияния ферментированного продукта, в состав которого входили инактивированные *S. cerevisiae*, увеличивая ферментативную антиоксидантную способность гусей и уменьшая содержание МДА [93]. Отмеченные положительные воздействия могут быть связаны с антиоксидантным действием маннана и β -глюкана, что было доказано фотохимическим люминол-зависимым методом [41; 44].

3.5. Изменение морфологической структура органов

Желудочно-кишечный тракт выполняет важные функции в организме, контролируя усвоение питательных веществ, координируя наш метаболизм и защищая от патогенов [10]. Эпителий кишечника структурно состоит из ворсинок и крипт, а их длина и глубина соответственно важна для измерения его повреждения. Так же кишечник включает множество типов секреторных клеток, основные из них – бокаловидные клетки [18].

Добавление β -глюкана в рацион домашней птицы увеличивает количество бокаловидных клеток и усиливает в них синтез муцина-2 [17]. Помимо этого, гистологический анализ морфологии кишечника показывает, что высота ворсинок, глубина крипт плотность бокаловидных клеток тонкой кишки увеличиваются вследствие добавления в корм 1,3 и 1,6 β -глюкана [20]. Включение в рацион МОС аналогично благоприятно влияет на гистоморфологию кишечника, более того, отмечена дозозависимая закономерность [13; 83]. Данные положительные эффекты скорее всего вызваны увеличением популяции бифидобактерий и лактобактерий, которые способны стимулировать васкуляризацию и развитие кишечных ворсинок [9].

Гистометрический анализ кишечника при скормливание поросётам концентрата живых *S. cerevisiae* показал, что высота ворсинок и глубина крипт были значительно выше, следовательно, их соотношение было ниже [11]. Высота ворсинок и глубина крипт являются косвенными признаками зрелости и функциональной способности энтероцитов, и чем длиннее ворсинки и крипты, тем больше в них энтероцитов [32]. В этом исследовании также проводили оценку содержания муцина в бокаловидных клетках [11]. Кислые гликоконъюгаты содержались в большем количестве, что может обеспечить большую устойчивость к бактериальным инфекциям в кишечнике, так как они придают высокую вязкость муцинам, которые в таком плотном состоянии потенциально способны задерживать патогенные бактерии. Кроме того, измеряли и толщину слизистой кишечника, так у поросётов, получавших дрожжи, наблюдается более тонкий слой слизи. Это может способствовать повышению эффективности их кормления, так как более толстый слой может также ограничивать диффузию питательных веществ к апикальной поверхности эпителиальных клеток, тем самым снижая всасывание. Так же более толстый слой у группы без дрожжевого рациона может указывать на большее присутствие потенциальных патогенных микроорганизмов в просвете кишечника, что позволяет предположить, что дрожжевые добавки полезны и способны снижать уровень потенциальных патогенов в кишечнике.

Помимо кишечника, важную роль играет рубец, участвуя в энергетическом балансе животного и действуя, как защитный барьер. Исследование [25; 50] показывает, что МОС и живые *S. cerevisiae* могут действовать как профилактический фактор против гиперкератинизации сосочков рубца, улучшая здоровье его эпителия за счёт уменьшения толщины рогового слоя. Этот профилактический эффект, по-видимому, обусловлен стабилизацией pH рубца и уменьшением продолжительности времени, в течение которого pH находится ниже порога рубцового ацидоза. Другая возможная гипотеза возникает на основании того, что при добавлении живых дрожжей в рацион бычков наблюдается увеличение производства ацетата и бутирата в рубце [50], которые могли бы уменьшить распространённость гиперкератинизации сосочков за счёт снижения осмотического давления в эпителии рубца [67].

Заключение

Использование дрожжей в качестве кормовой добавки, в настоящее время представляет большой интерес, но поскольку результаты исследований имеют противоречия, которые возможно связаны с различиями в животном

материале, формы использования дрожжей, отсутствием улучшения усвояемости питательных веществ, что зависит от состава основного рациона, организации кормления, использовании других кормовых добавок вместе с дрожжами, а также с длительностью срока получения добавки и ее количества и с условием того, что механизмы действия дрожжевых продуктов, которые прямо или косвенно влияют на метаболизм и работоспособность, до конца не изучены, необходимы дальнейшие исследования, чтобы лучше понять принцип действия, дозы, безопасность и рекомендации по использованию этих продуктов. Данный обзор позволит определить новые направления исследований, которые помогут лучше охарактеризовать механизм действия дрожжей и их компонентов, что в результате приведет к более целенаправленной коррекции действующих рационов.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена по государственному заданию FNWZ-2024-0002.

Список литературы / References

1. Овсепьян, В. А., Юрина, Н. А., Тлецерук, И. Р., & Юрин, Д. А. (2023). Применение кормовых добавок в рационах цыплят-бройлеров: монография. Краснодар: Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии. 166 с. <https://doi.org/10.48612/monograph-2023-1> (Ovsepian, V. A., Yurina, N. A., Tlezeruk, I. R., & Yurin, D. A. (2023). *Application of feed additives in broiler chickens' diets: Monograph*. Krasnodar: Krasnodar Scientific Centre for Animal Husbandry and Veterinary Science. 166 p. <https://doi.org/10.48612/monograph-2023-1>)
2. Рядчиков, В. Г., Астахова, Д. П., Сень, Т. А., Шляхова, О. Г., Потехин, С. А., & Тарасенко, О. А. (2014). Эффективность сухих пекарских дрожжей рода *Saccharomyces cerevisiae* в рационах молочных коров. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, (101)*, 1500–1515. (Ryadchikov, V. G., Astakhova, D. P., Sen', T. A., Shlyakhova, O. G., Potekhin, S. A., & Tarasenko, O. A. (2014). Efficiency of dry baker's yeast genus *Saccharomyces cerevisiae* in dairy cows' diet. *Polythematic Network Electronic Scientific Journal of Kuban State Agrarian University, (101)*, 1500–1515.)
3. Смоленцев, С. Ю. (2023). Влияние пробиотиков на росто-весовые показатели молодняка крупного рогатого скота. *Вестник Марийского*

- государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки», 9(2), 197–204. (Smolentsev, S. Y. (2023). Effect of probiotics on growth-weight parameters of young cattle. *Bulletin of Mari State University. Series "Agricultural sciences. Economic sciences"*, 9(2), 197–204.)
4. Шацких, Е. В., Нуфер, А. И., & Галиев, Д. М. (2019). Рациональный подход к замене кормовых антибиотиков в рационах цыплят-бройлеров на альтернативные ростостимулирующие добавки СафМаннан и Иммуносан. *Вестник Курганской ГСХА*, 31(3), 47–49. (Shatskikh, E. V., Nufer, A. I., & Galiev, D. M. (2019). Rational approach to replacing feed antibiotics in broiler chickens' diets with alternative growth stimulators SafMannan and Immunosan. *Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy*, 31(3), 47–49.)
 5. Ahiwe, E. U., Abdallh, M. E., Chang'a, E. P., Omede, A. A., Al-Qahtani, M., Gausi, H., Graham, H., & Iji, P. A. (2020). Influence of dietary supplementation of autolysed whole yeast and yeast cell wall products on broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(4), 579–587. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0220>
 6. Alizadeh, M., Rodriguez, J. C., Yitbarek, A., Sharif, S., Crow, G., & Slominski, B. A. (2016). Effect of yeast-derived products on systemic innate immune response of broiler chickens following a lipopolysaccharide challenge. *Poultry Science*, 95(10), 2266–2273. <https://doi.org/10.3382/ps/pew154>
 7. Al-Nasrawi, M. A., Al-Kassie, G. A., & Ali, N. A. (2020). Role of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as a source of probiotics in poultry diets. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(7), 6611–6617. https://www.researchgate.net/publication/348351795_Role_Of_Yeast_Saccharomyces_Cerevisiae_As_A_Source_Of_Probiotics_In_Poultry_Diets
 8. Bach, A., Iglesias, C., & Devant, M. (2007). Daily rumen pH pattern of loose-housed dairy cattle as affected by feeding pattern and live yeast supplementation. *Animal Feed Science and Technology*, 136, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.09.011>
 9. Baurhoo, B., Phillip, L., & Ruiz-Feria, C. A. (2007). Effects of purified lignin and mannan oligosaccharides on intestinal integrity and microbial populations in the ceca and litter of broiler chickens. *Poultry Science*, 86, 1070–1078. <https://doi.org/10.1093/ps/86.6.1070>
 10. Bonis, V., Rossell, C., & Gehart, H. (2021). The intestinal epithelium – fluid fate and rigid structure from crypt bottom to villus tip. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 20(9), 661931. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.661931>
 11. Bontempo, V., Di Giancamillo, A., Savoini, G., Dell'Orto, V., & Domeneghini, C. (2006). Live yeast dietary supplementation acts upon intestinal morpho-func-

- tional aspects and growth in weanling piglets. *Animal Feed Science and Technology*, 129(3), 224–236. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.12.015>
12. Chacher, M. F. A., Kamran, Z., & Ahsan, U. (2017). Use of mannan oligosaccharide in broiler diets: an overview of underlying mechanism. *World's Poultry Science Journal*, 73, 831–844. <https://doi.org/10.1017/S0043933917000757>
 13. Chand, N., Khan, R. U., Mobashar, M., Naz, S., Rowghani, E., & Khan, M. A. (2019). Mannanoligosaccharide (MOS) in broiler ration during the starter phase: 1. Growth performance and intestinal histomorphology. *Pakistan Journal of Zoology*, 51, 173–176. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.1.173.176>
 14. Chaucheyras-Durand, F., Chevaux, E., Martin, C., & Forano, E. (2012). Use of yeast probiotics in ruminants: Effects and mechanisms of action on rumen pH, fibre degradation, and microbiota according to the diet. In Rigobelo, E. (Ed.), *Probiotic in Animals* (pp. 119–152). IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/50192>
 15. Chaucheyras-Durand, F., Walker, N. D., & Bach, A. (2008). Effects of active dry yeast on the rumen microbial ecosystem: Past, present and future. *Animal Feed Science and Technology*, 145, 5–26. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.019>
 16. Chung, Y. H., Walker, N. D., McGinn, S. M., & Beauchemin, K. A. (2011). Differing effects of two active dried yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) strains on ruminal acidosis and methane production in non-lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94, 2431–2439. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3277>
 17. Cox, C. M., Sumners, L. H., Kim, S., McElroy, A. P., Bedford, M. R., & Dalloul, R. A. (2010). Immune responses to dietary β -glucan in broiler chicks during an *Eimeria* challenge. *Poultry Science*, 89, 2597–2607. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00987>
 18. Cui, C., Li, L., Wu, L., Wang, X., Zheng, Y., Wang, F., Wei, H., & Peng, J. (2023). Paneth cells in farm animals: current status and future direction. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1), 118. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00905-5>
 19. Dalmo, R. A., & Bøgwald, J. (2008). β -glucans as conductors of immune symphonies. *Fish & Shellfish Immunology*, 25, 384–396. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2008.04.008>
 20. Ding, B., Zheng, J., Wang, X., Zhang, L., Sun, D., Xing, Q., Pirone, A., & Fronte, B. (2019). Effects of dietary yeast beta-1,3-1,6-glucan on growth performance, intestinal morphology and chosen immunity parameters changes in Haidong chicks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(10), 1558–1564. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0962>
 21. Elghandour, M. M. Y., Tan, Z. L., Abu Hafsa, S. H., Adegbeye, M. J., Greiner, R., Ugbogu, E. A., Monroy, J. C., & Salem, A. Z. M. (2020). *Saccharomyces cerevi-*

- siae* as a probiotic feed additive to non- and pseudo-ruminant feeding: A review. *Journal of Applied Microbiology*, 128(3), 658–674. <https://doi.org/10.1111/jam.14416>
22. Enculescu, M. (2021). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* addition in dairy cow diets. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies*, 78(1), 18–26. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:2020.0022>
 23. Feldmann, H. (2012). *Yeast: Molecular and Cell Biology* (2nd ed.). John Wiley & Sons: Hoboken, NJ. ISBN: 978-3-527-65918-0
 24. Garcia Diaz, T., Ferriani Branco, A., Jacovaci, F. A., Cabreira Jobim, C., Pratti Daniel, J. L., Iank Bueno, A. V., & Gonçalves Ribeiro, M. (2018). Use of live yeast and mannan-oligosaccharides in grain-based diets for cattle: Ruminal parameters, nutrient digestibility, and inflammatory response. *PLoS ONE*, 13(11), e0207127. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207127>
 25. Garcia Diaz, T., Ferriani Branco, A., Jacovaci, F. A., Cabreira Jobim, C., Bolson, D. C., & Pratti Daniel, J. L. (2018). Correction: Inclusion of live yeast and mannan-oligosaccharides in high grain-based diets for sheep: Ruminal parameters, inflammatory response and rumen morphology. *PLoS ONE*, 13(4), e0196184. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193313>
 26. Ghazanfar, S., Khalid, N., Ahmed, I., & Imran, M. (2017). Probiotic yeast: Mode of action and its effects on ruminant nutrition. In *Yeast—Industrial Applications* (pp. 179–202). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70778>
 27. Ghosh, T., Haldar, S., Bedford, M., Muthusami, N., & Samanta, I. (2012). Assessment of yeast cell wall as replacements for antibiotic growth promoters in broiler diets: Effects on performance, intestinal histo-morphology and humoral immune responses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 96, 275–284. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01155.x>
 28. Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., et al. (2017). Expert consensus document: The international scientific association for probiotics and prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14, 491–502. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>
 29. Göncü, S., Bozkurt, S., & Görgülü, M. (2020). The effect of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on fattening performances of growing cattle. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 5(3), 109–111. <https://doi.org/10.15406/mojes.2020.05.00182>
 30. Guo, J., Chang, G., Zhang, K., Xu, L., Jin, D., Bilal, M. S., & Shen, X. (2017). Rumen-derived lipopolysaccharide provoked inflammatory injury in the liver

- of dairy cows fed a high-concentrate diet. *Oncotarget*, 8(29), 46769–46780. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.18151>
31. Gurbuz, E., Balevi, T., Kurtoglu, V., & Oznurlu, Y. (2011). Effects of adding yeast cell walls and *Yucca schidigera* extract to diets of layer chicks. *British Poultry Science*, 52(5), 625–631. <https://doi.org/10.1080/00071668.2011.619517>
32. Hampson, D. J. (1986). Alterations in piglets' small intestinal structure at weaning. *Research in Veterinary Science*, 40, 32–40. [https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(18\)30482-X](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(18)30482-X)
33. He, T., Mahfuz, S., Piao, X., Wu, D., Wang, W., Yan, H., Ouyang, T., & Liu, Y. (2021). Effects of live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as a substitute to antibiotic on growth performance, immune function, serum biochemical parameters and intestinal morphology of broilers. *Journal of Applied Animal Research*, 49(1), 15–22. <https://doi.org/10.1080/09712119.2021.1876705>
34. Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., et al. (2014). The international scientific association for probiotics and prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 11, 506–514. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>
35. Imrich, I., Copik, S. T., Mlyneková, E., Mlynek, J., Hascik, P., & Kanka, T. (2021). The effect of *Saccharomyces cerevisiae* additive to cattle ration on milk yield of dairy cows. *Acta Fytotechnica Et Zootechnica*, 24, 45–48. <https://doi.org/10.15414/afz.2021.24.mi-prap.45-48>
36. Jacob, J., & Pescatore, A. (2017). Glucans and the poultry immune system. *American Journal of Immunology*, 13(3), 45–49. <https://doi.org/10.3844/ajisp.2017.45.49>
37. Javadi, A., Mirzaei, H., Safarmashaei, S., & Vahdatpour, S. (2012). Effects of probiotic (live and inactive *Saccharomyces cerevisiae*) on meat and intestinal microbial properties of Japanese quails. *African Journal of Biotechnology*, 11(57), 12083–12087. <https://doi.org/10.5897/AJB12.232>
38. Johnson, C. N., Hashim, M. M., Bailey, C. A., Byrd, J. A., Kogut, M. H., & Arsenault, R. J. (2020). Feeding of yeast cell wall extracts during a necrotic enteritis challenge enhances cell growth, survival and immune signaling in the jejunum of broiler chickens. *Poultry Science Journal*, 99(6), 2955–2966. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.03.012>
39. Klis, F. M., Mol, P., Hellingwerf, K., & Brul, S. (2002). Dynamics of cell wall structure in *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Microbiology Reviews*, 26(3), 239–256. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2002.tb00613.x>

40. Koc, F., Samli, H., Okur, A., Ozduven, M., Akyurek, H., & Senkoylu, N. (2010). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* and/or mannanoligosaccharide on performance, blood parameters and intestinal microbiota of broiler chicks. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16, 643–650. <https://www.agrojournal.org/16/05-15-10.pdf>
41. Kogan, G., Pajtinka, M., Babincova, M., Miadokova, E., Rauko, P., Slamenova, D., & Korolenko, T. A. (2008). Yeast cell wall polysaccharides as antioxidants and antimutagens: Can they fight cancer? *Neoplasma*, 55(5), 387–393.
42. Konca, Y., Kirkpinar, F., & Mert, S. (2009). Effects of mannan-oligosaccharides and live yeast in diets on the carcass, cut yields, meat composition and color of finishing turkeys. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22, 550–556. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.80350>
43. Kovačević, M. (2015). Morphological and physiological characteristics of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* cells differing in lifespan: Master thesis. Zagreb. 87 p. <https://core.ac.uk/download/pdf/53873457.pdf>
44. Krizkova, L., Durackova, Z., Sandula, J., Sasinkova, V., & Krajcovic, J. (2001). Antioxidative and antimutagenic activity of yeast cell wall mannans in vitro. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 497, 213–222. [https://doi.org/10.1016/s1383-5718\(01\)00257-1](https://doi.org/10.1016/s1383-5718(01)00257-1)
45. Lascano, G. J., & Heinrichs, A. J. (2009). Rumen fermentation pattern of dairy heifers fed restricted amounts of low, medium, and high concentrate diets without and with yeast culture. *Livestock Science*, 124, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.12.007>
46. Lei, C. L., Dong, G. Z., Jin, L., Zhang, S., & Zhou, J. (2013). Effects of dietary supplementation of montmorillonite and yeast cell wall on lipopolysaccharide adsorption, nutrient digestibility and growth performance in beef cattle. *Livestock Science*, 158, 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.08.019>
47. Li, X. H., Chen, Y. P., Cheng, Y. F., Yang, W. L., Wen, C., & Zhou, Y. M. (2016). Effect of yeast cell wall powder with different particle sizes on the growth performance, serum metabolites, immunity and oxidative status of broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 212, 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2015.12.011>
48. Lynch, H. A., & Martin, S. A. (2002). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* culture and *Saccharomyces cerevisiae* live cells on in vitro mixed ruminal micro-organism fermentation. *Journal of Dairy Science*, 85(10), 2603–2608. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74345-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74345-2)
49. Maamouri, O., Mabrouk, S., & Mathlouthi, L. M. (2019). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* as dead yeast culture on feed supplement in fattening cattle on

- growth, intake parameters and nutrient digestibility. *Large Animal Review*, 25(3), 83–87. <https://www.largeanimalreview.com/index.php/lar/article/view/325>
50. Magrin, L., Gottardo, F., Fiore, E., Giancesella, M., Martin, B., Chevaux, E., & Cozzi, G. (2018). Use of a live yeast strain of *Saccharomyces cerevisiae* in a high-concentrate diet fed to finishing Charolais bulls: Effects on growth, slaughter performance, behavior, and rumen environment. *Animal Feed Science and Technology*, 241, 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.04.021>
51. Masék, T., Mikulec, Ž., Valpotić, H., Kušće, L., Mikulec, N., & Antunac, N. (2008). The influence of live yeast cells (*Saccharomyces cerevisiae*) on the performance of grazing dairy sheep in late lactation. *Veterinarski Arhiv*, 78(2), 95–104. <https://wwwi.vef.hr/vetarhiv/papers/2008-78-2-1.pdf>
52. Maturana, M., Castillejos, L., Martin-Orue, S. M., Minel, A., Chetty, O., Felix, A. P., & Lesaux, A. A. (2023). Potential benefits of yeast *Saccharomyces* and their derivatives in dogs and cats: A review. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1279506. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1279506>
53. McCord, J. M. (1979). Superoxide: Superoxide dismutase and oxygen toxicity. *Reviews of Biochemistry and Toxicology*, 1, 109–124.
54. Meledina, T. V., Ivanova, V. A., Golovinskaia, O. V., & Harba, R. (2021). *Yeast. Morphology and physiology: Study guide*. Saint-Petersburg: ITMO University. 68 p. <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2760.pdf>
55. Mirza, R. A., Muhammad, S. D., & Kareem, K. Y. (2020). Effect of commercial baker's yeast supplementation (*Saccharomyces cerevisiae*) in diet and drinking water on productive performance, carcass traits, haematology, and microbiological characteristics of local quails. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*, 32(3), 200–205. <https://doi.org/10.21271/ZJPAS.32.3.21>
56. Mohammed, S., Enas, A., & Farook, S. (2018). Review on effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as feed additives in ruminants performance. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(2), 629–635. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10675.37926>
57. Moyad, M. A., Robinson, L. E., Kittelsrud, J. M., Reeves, S. G., Weaver, S. E., & Guzman, A. I. (2009). Immunogenic yeast-based fermentation product reduces allergic rhinitis-induced nasal congestion: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Advances in Therapy*, 26, 795–804. <https://doi.org/10.1007/s12325-009-0057-y>
58. Newbold, C. J., Wallace, R. J., Chen, X. B., & McIntosh, F. M. (1995). Different strains of *Saccharomyces cerevisiae* differ in their effects on ruminal bacterial numbers in vitro and in sheep. *Journal of Animal Science*, 73, 1811–1818. <https://doi.org/10.2527/1995.7361811x>

59. Newbold, C. J., Wallace, R. J., & McIntosh, F. M. (1996). Mode of action of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a feed additive for ruminants. *British Journal of Nutrition*, 76, 249–261. <https://doi.org/10.1079/bjn19960029>
60. Nguyen, T. H., Fleet, G. H., & Rogers, P. L. (1998). Composition of the cell walls of several yeast species. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 50(2), 206–212. <https://doi.org/10.1007/s002530051278>
61. Nochta, I., Tuboly, T., Halas, V., & Babinszky, L. (2009). Effect of different levels of mannan-oligosaccharide supplementation on some immunological variables in weaned piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 93(4), 496–504. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00835.x>
62. Öztürk, H., Emre, G., & Breves, G. (2016). Effects of hydrolysed yeasts on ruminal fermentation in the rumen simulation technique (Rusitec). *Veterinary Medicine*, 61, 195–203. <https://doi.org/10.17221/8820-VETMED>
63. Olagaray, K. E., Sivinski, S. E., Saylor, B. A., Mamedova, L. K., Sauls-Hieserman, J. A., Yoon, I., & Bradford, B. J. (2019). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on feed intake parameters, lactation performance, and metabolism of transition dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 8092–8107. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16315>
64. Omara, I. I., Pender, C. M., White, M. B., & Dalloul, R. A. (2021). The modulating effect of dietary beta-glucan supplementation on expression of immune response genes of broilers during a coccidiosis challenge. *Animals*, 11(1), 159. <https://doi.org/10.3390/ani11010159>
65. Ovinge, L. A., Sarturi, J. O., Galyean, M. L., Ballou, M. A., Trojan, S. J., Campanili, P. R. B., Alrumaih, A. A., & Pellarin, L. A. (2018). Effects of a live yeast in natural-program finishing feedlot diets on growth performance, digestibility, carcass characteristics, and feeding behavior. *Journal of Animal Science*, 96(2), 684–693. <https://doi.org/10.1093/jas/sky011>
66. Patterson, R., Rogiewicz, A., Kiarie, E. G., & Slominski, B. A. (2022). Yeast derivatives as a source of bioactive components in animal nutrition: A brief review. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1067383. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1067383>
67. Penner, G. B., Aschenbach, J. R., Gäbel, G., & Oba, M. (2009). Epithelial capacity for the apical uptake of short-chain fatty acids is a key determinant for intra-ruminal pH and the susceptibility to sub-acute ruminal acidosis in sheep. *The Journal of Nutrition*, 139, 1714–1720. <https://doi.org/10.3945/jn.109.108506>
68. Perricone, V., Sandrini, S., Irshad, N., Savoini, G., Comi, M., & Agazzi, A. (2022). Yeast-derived products: The role of hydrolyzed yeast and yeast culture in poultry nutrition. A review. *Animals*, 12, 1426. <https://doi.org/10.3390/ani12111426>

69. Pinloche, E., McEwan, N., Marden, J. P., Bayourthe, C., Auclair, E., & Newbold, C. J. (2013). The effects of a probiotic yeast on the bacterial diversity and population structure in the rumen of cattle. *PLoS ONE*, 8(7), e67824. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067824>
70. Plaizier, J., Khafipour, E., Li, S., Gozho, G., & Krause, D. (2012). Subacute ruminal acidosis (SARA), endotoxins and health consequences. *Animal Feed Science and Technology*, 172, 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.004>
71. Poli, G., Leonarduzzi, G., Biasi, F., & Chiarotto, E. (2004). Oxidative stress and cell signaling. *Current Medicinal Chemistry*, 11(9), 1163–1182. <https://doi.org/10.2174/0929867043365323>
72. Qui, N. H. (2023). Baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and its application on poultry's production and health: A review. *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, 37(1), 213–221. <https://doi.org/10.33899/ijvs.2022.132912.2146>
73. Roto, S. M., Rubinelli, P. M., & Ricke, S. C. (2015). An introduction to the avian gut microbiota and the effects of yeast-based prebiotic-type compounds as potential feed additives. *Frontiers in Veterinary Science*, 2, 28. <https://doi.org/10.3389/fvets.2015.00028>
74. Sallam, S. M. A., Abdelmalek, M. L. R., Kholif, A. E., Zahran, S. M., Ahmed, M. H., Zeweil, H. S., Attia, M. F. A., Osama, H. M., & Olafadehan, O. A. (2020). The effect of *Saccharomyces cerevisiae* live cells and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on the lactational performance of dairy cows. *Animal Biotechnology*, 31(6), 491–497. <https://doi.org/10.1080/10495398.2019.1625783>
75. Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., & Quigley, E. M. M. (2021). The international scientific association of probiotics and prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18, 649–667. <https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6>
76. Satoshi, S., Kiyoji, T., Hiroyo, K., & Fumio, N. (1989). Exercise-induced lipid peroxidation and leakage of enzymes before and after vitamin E supplementation. *International Journal of Biochemistry*, 21(8), 835–838. [https://doi.org/10.1016/0020-711x\(89\)90280-2](https://doi.org/10.1016/0020-711x(89)90280-2)
77. Shurson, G. C. (2018). Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. *Animal Feed Science and Technology*, 235, 60–76. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.11.010>
78. Sivinski, S. E., Meier, K. E., Mamedova, L. K., Saylor, B. A., Shaffer, J. E., Sauls-Hiesterman, J. A., Yoon, I., & Bradford, B. J. (2022). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on oxidative status, inflammation, and

- immune response in transition dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 105(11), 8850–8865. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21998>
79. Spring, P., Wenk, C., Connolly, A., & Kiers, A. (2015). A review of 733 published trials on Bio-Mos®, a mannan oligosaccharide, and Actigen®, a second-generation mannose-rich fraction, on farm and companion animals. *Journal of Applied Animal Nutrition*, 3, E8. <https://doi.org/10.1017/jan.2015.6>
80. Suarez, C., & Guevara, C. A. (2018). Probiotic use of yeast *Saccharomyces cerevisiae* in animal feed. *Research Journal of Zoology*, 1, 1–6. <https://doi.org/10.4172/RJZ.1000103>
81. Swyers, K. L., Wagner, J. J., Dorton, K. L., & Archibeque, S. L. (2014). Evaluation of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product as an alternative to monensin on growth performance, cost of gain, and carcass characteristics of heavyweight yearling beef steers. *Journal of Animal Science*, 92, 2538–2545. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7559>
82. Tohid, T., Hasan, G., & Alireza, T. (2010). Efficacy of mannanoligosaccharides and humate on immune response to avian influenza (H9) disease vaccination in broiler chickens. *Veterinary Research Communications*, 34(8), 709–717. <https://doi.org/10.1007/s11259-010-9444-8>
83. Tufail, M., Chand, N., Rafiullah, A. S., Khan, R. U., Mobashar, M., & Naz, S. (2019). Mannanoligosaccharide (MOS) in broiler diet during the finisher phase: 2. Growth traits and intestinal histomorphology. *Pakistan Journal of Zoology*, 51, 597–602. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.2.597.602>
84. USDA. Leavening agents, yeast, baker's, active dry.
85. Uyeno, Y., Shigemori, S., & Shimosato, T. (2015). Effect of probiotics/prebiotics on cattle health and productivity. *Microbes and Environments*, 30(2), 126–132. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME14176>
86. Vyas, D., Uwizeye, A., Mohammed, R., Yang, W. Z., Walker, N. D., & Beauchemin, K. A. (2014). The effects of active dried and killed dried yeast on subacute ruminal acidosis, ruminal fermentation, and nutrient digestibility in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 92(2), 724–732. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7072>
87. Wu, C., Yang, Z., Song, C., Liang, C., Li, H., Chen, W., Lin, W., & Xie, Q. (2018). Effects of dietary yeast nucleotides supplementation on intestinal barrier function, intestinal microbiota, and humoral immunity in specific-pathogen-free chickens. *Poultry Science*, 97(11), 3837–3846. <https://doi.org/10.3382/ps/pey268>
88. Xiao, R., Power, R. F., Mallonee, D., Routt, K., Spangler, L., Pescatore, A. J., Cantor, A. H., Ao, T., Pierce, J. L., & Dawson, K. A. (2012). Effects of yeast cell wall-derived mannan-oligosaccharides on jejunal gene expression in young

- broiler chickens. *Poultry Science*, 91(7), 1660–1669. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-02035>
89. Zanello, G., Meurens, F., Serreau, D., Chevaleyre, C., Melo, S., Berri, M. D., Inca, R., Auclair, E., & Salmon, H. (2013). Effects of dietary yeast strains on immunoglobulin in colostrum and milk of sows. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 152, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2012.09.023>
90. Zebeli, Q., & Ametaj, B. N. (2009). Relationships between rumen lipopolysaccharide and mediators of inflammatory response with milk fat production and efficiency in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(8), 3800–3809. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2178>
91. Zhang, A. W., Lee, B. D., Lee, S. K., Lee, K. W., An, G. H., Song, K. B., & Lee, C. H. (2005). Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance, meat quality, and ileal mucosa development of broiler chicks. *Poultry Science Journal*, 84(7), 1015–1021. <https://doi.org/10.1093/ps/84.7.1015>
92. Zhang, B., Guo, Y., & Wang, Z. (2008). The modulating effect of β -1, 3/1, 6-glucan supplementation in the diet on performance and immunological responses of broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(2), 237–244. <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.70207>
93. Zhang, J., Wan, K., Xiong, Z. B., Luo, H., Zhou, Q. F., Liu, A. F., Cao, T. T., & He, H. (2021). Effects of dietary yeast culture supplementation on the meat quality and antioxidant capacity of geese. *Journal of Applied Poultry Research*, 30(1), 100116. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.100>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Лазебник Кристина Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований в животноводстве
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
christinakondrashova94@yandex.ru

Косян Дианна Багдасаровна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований в животноводстве

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»*

*ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
kosyan.diana@mail.ru*

Дускаев Галимжан Калиханович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела кормления с/х животных и технологии кормов, заместитель директора

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»*

*ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
gduskaev@mail.ru*

Рязанов Виталий Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела кормления с/х животных и технологии кормов

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»*

*ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
vita7456@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Kristina S. Lazebnik, Junior Researcher Laboratory of Breeding and Genetic Research in Animal Husbandry

*Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences*

*29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
christinakondrashova94@yandex.ru*

SPIN-code: 9820-8180

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4907-9656>

ResearcherID: KFA-8181-2024

Scopus Author ID: 57209232529

Diana B. Kosyan, PhD of Biological Sciences, Senior Researcher Laboratory of Breeding and Genetic Research in Animal Husbandry
Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
kosyan.diana@mail.ru
SPIN-code: 3613-7137
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2621-108X>
ResearcherID: O-1790-2016
Scopus Author ID: 56698270900

Galimzhan K. Duskaev, Grand PhD in Biological Sciences, Leading Researcher of the Department of Animal Feeding and Feed Technology, Deputy Director
Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
gduskaev@mail.ru
SPIN-code: 7297-3319
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>
ResearcherID: N-4454-2014
Scopus Author ID: 56192764700

Vitaly A. Ryazanov, PhD of Agricultural Sciences, Researcher of the Department of Animal Feeding and Feed Technology
Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
vita7456@yandex.ru
SPIN-code: 6076-5714
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0903-9561>
ResearcherID: AAG-8005-2020
Scopus Author ID: 0000-0003-0903-9561

Поступила 15.04.2024

После рецензирования 21.06.2024

Принята 07.08.2024

Received 15.04.2024

Revised 21.06.2024

Accepted 07.08.2024