



Витамин E в кормлении молочного скота (обзор)

© 2024. Е. В. Туаева ✉

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация

Витамин E (токоферол) – жирорастворимый витамин, который оказывает значительное влияние на рост и здоровье животных. В настоящее время синтезировано 8 изомеров токоферола; их особенность заключается в различном расположении метильных групп в хромановом ядре. В организме животных изомеры витамина E не могут превращаться друг в друга, и их биологическая активность значительно различается. Токоферол обладает мощным антиоксидантным действием, защищая вещества от окисления в организме, и играет важную роль в поддержании нормальных метаболических процессов и физиологических функций. Витамин E обеспечивает защиту клеточных мембран от окислительного повреждения перекисью водорода, способствует поддержанию иммуномодулирующего эффекта и повышает устойчивость организма к различным патогенам. Кроме того, выполняет существенную функцию в эмбриогенезе, метаболизме нуклеиновых кислот, биосинтезе аскорбиновой кислоты и обеспечивает сохранность структурных и функциональных характеристик тканей. Изомер α-токоферол обладает наивысшей биологической активностью. Использование в кормлении сельскохозяйственных животных кормовых добавок α-токоферола представлено в виде натуральной формы RRR или синтетической формы all-rac, включающей все восемь стереоизомеров (четыре с конфигурацией 2R и четыре с конфигурацией 2S) в равных количествах. Данный обзор на основе 105 публикаций предлагает свод современных знаний и исследований, сфокусированных на изучении физиологической роли витамина E в питании молочного скота, а также анализирует влияние различных дозировок α-токоферола на зоотехнические показатели.

Ключевые слова: токоферол, лактация, воспроизводство, продуктивность, метаболизм, биодоступность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (тема № FGGN-124020200032-4).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Туаева Е. В. Витамин E в кормлении молочного скота (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(5):770–784. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.770-784>

Поступила: 13.05.2024

Принята к публикации: 06.09.2024

Опубликована онлайн: 30.10.2024

Vitamin E in dairy cattle feeding (review)

© 2024. Evgeniya V. Tuaeва ✉

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region, Russian Federation

Vitamin E (tocopherol) is a fat-soluble vitamin that has a significant effect on the growth and health of animals. Currently, 8 tocopherol isomers have been synthesized; their peculiarity lies in the different distribution of methyl groups in the chromane core. In animals, vitamin E isomers cannot convert into each other and their biological activity varies significantly. Tocopherol has a powerful antioxidant effect, protecting substances from oxidation in the body, and plays an important role in maintaining normal metabolic processes and physiological functions. Vitamin E protects cell membranes from oxidative damage by hydrogen peroxide, helps maintain the immunomodulatory effect and increases the body's resistance to various pathogens. In addition, it performs an essential function in embryogenesis, nucleic acid metabolism, ascorbic acid biosynthesis and ensures the preservation of structural and functional characteristics of tissues. The α-tocopherol isomer has the highest biological activity. The use of α-tocopherol feed additives in the feeding of agricultural animals is presented in the form of a natural form of RRR or a synthetic form of all-rac, including all eight stereoisomers (four with the 2R configuration and four with the 2S configuration) in equal quantities. This review based on 105 publications offers a set of modern knowledge and research focused on the study of the physiological role of vitamin E in the nutrition of dairy cattle, as well as analyzes the effect of various dosages of α-tocopherol on zootechnical indicators.

Keywords: tocopherol, lactation, reproduction, productivity, metabolism, bioavailability

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst (theme No. FGGN- 124020200032-4).

The author thanks the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the author stated that there was no conflict of interest.

For citation: Tuaeва E V. Vitamin E in dairy cattle feeding (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):770–784. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.770-784>

Received: 13.05.2024

Accepted for publication: 06.09.2024

Published online: 30.10.2024

Обеспечение адекватного питания животных, характеризующегося высоким качеством и экономической эффективностью, является главным условием для получения максимальной продуктивности и реализации генетических возможностей животных [1]. Рационы, оптимально сбалансированные по количественному составу и качеству кормов, оказывают влияние не только на продуктивность, но и на здоровье, и продолжительность хозяйственного использования животных [2, 3]. Одним из главных факторов эффективного использования высококачественных кормов является корректное соотношение жизненно необходимых питательных компонентов в кормовых рационах [4].

Значительным резервом увеличения продуктивности животных и птицы является обеспеченность их рационов витаминами. Они являются неотъемлемой частью кормовых рационов и необходимы в малых количествах для поддержания биохимических, метаболических и физиологических процессов, что способствует более интенсивному росту и развитию, повышению продуктивности и укреплению иммунной системы [5, 6, 7]. Учитывая тот факт, что животные не в состоянии синтезировать жирорастворимые витамины эндогенно, их необходимо включать в рационы в качестве биоактивных добавок [8].

Витамин Е играет огромную роль в живом организме, он необходим для оптимального функционирования многих биологических систем и выполняет важные функции в мышечной, нервной, кровеносной, репродуктивной и иммунной системах, также выступает в качестве мощного жирорастворимого антиоксиданта и оказывает противовоспалительное действие, обеспечивает защиту организма от вторжения чужеродных антигенов и участвует в регуляции экспрессии генов. Как антиоксидант, защищает клеточные мембраны и другие липидосодержащие структуры от окислительного повреждения, которое может быть вызвано свободными радикалами [9]. Данный витамин обладает уникальными свойствами, не позволяющими его заменить на другие антиоксидантные вещества, будь то эндогенные или экзогенные, и это делает витамин Е неотъемлемой частью механизмов поддержания структурной целостности клеток, особенно в таких восприимчивых к окислительному стрессу тканях, как печень, легкие и мышцы [10, 11].

Витамин Е, относящийся к группе жирорастворимых витаминов, участвует в поддержании здоровья, росте и развитии животных, в том числе сельскохозяйственных животных и птицы [12]. Многочисленные исследования посвящены пониманию роли витамина Е в продуктивном животноводстве для оптимизации производственных показателей. В последние годы наблюдается значительный прогресс в понимании механизмов действия витамина Е, что позволяет разработать более эффективные подходы к его использованию в практике кормления животных.

Цель обзора – обобщить современные исследования, опубликованные в обзорных и экспериментальных работах, для освещения данных о роли витамина Е в биологических процессах и его воздействии на системы организма молочного скота.

Материал и методы. В рамках анализа литературных источников был проведен систематический поиск и оценка публикаций, хранящихся в электронных базах данных, включая PubMed, ScienceDirect и КиберЛенинка. При этом более половины всех исследованных источников были опубликованы в течение последних пяти лет. Во время поиска использовались ключевые термины и фразы – «витамин Е», «токоферолы», «структура», «биодоступность», «метаболизм», «содержание витамина Е в кормах», «крупный рогатый скот», «продуктивность» и «здоровье». Метод поиска был основан на применении стандартных ключевых понятий и включал запросы к названиям, аннотациям и другим атрибутам публикаций. В процессе подготовки литературного обзора изучали рекомендации, монографии, статьи аналитические и экспериментального характера, представленные авторами и исследователями группами из разных стран.

Основная часть. За последние 100 лет основные исследования были посвящены пониманию механизмов и потребности в витамине Е людей и животных.

Витамин Е, эссенциальный жирорастворимый витамин, нетоксичен, его влияние на организм объясняется антиоксидантными и не антиоксидантными свойствами, необходим в рационе в небольшом количестве, при этом оказывает положительное влияние на продуктивность животных, улучшает качество продукции, а также обеспечивает получение жизнеспособного приплода [13].

Название «токоферол» от греческих слов «τόκος» [tókos – рождение] и «φέρειν» [phérein – вынашивать или переносить], что означает «вынашивать беременность», чтобы указать на присутствие ОН-группы в молекуле в конце было добавлено «ol». Витамин обнаружили в 1922 году американские ученые Герберт Маклин Эванс (Herbert McLean Evans) и Кэтрин Скотт Бишоп (Katharine Scott Bishop), в проведенных исследованиях был обозначен как неизвестный фактор, выявленный в растительных маслах, необходимый для нормального воспроизводства крыс, и назван «фактор Х» или «фактор антистерильности». Эванс предложил использовать букву E для обозначения фактора, следующего за известным тогда витамином D. Глэдис Людвина Андерсон Эмерсон (Gladys Ludwina Anderson Emerson) в 1936 году выделила альфа-токоферол из масла зародышей пшеницы. Правильная структура была дана в 1938 году немецким ученым Фридрихом Августом Эрхардом Фернхольцем (Friedrich August Erhard Fernholz), и в этом же году впервые был осуществлён синтез витамина E из триметилгидрохинона и фитилбромиды в присутствии хлорида цинка швейцарским химиком-органиком Паулем Каррером (Paul Karrer) [14].

В последующие годы изучения витамина E из пищевых растительных масел были выделены два токоферола: γ - и δ -токоферол, а также токотриенолы. Сегодня известно, что в природе встречаются в общей сложности четыре токоферола и четыре токотриенола. В 1968 году витамин E официально признали необходимым веществом, которое должно в обязательном порядке входить в рацион, а α -токоферол соответствует определению витамина E [15]. В это же время в мире были получены неоспоримые данные о значении витамина E как антиоксиданта, разрушающего радикальные цепи, который может защищать целостность тканей и играть важную роль в жизненных процессах [16].

В дальнейших исследованиях было обнаружено, что α -токоферол обладает функциями, независимыми от его антиоксидантной способности поглощать радикалы, и всасывание α -токоферола в организме избирательно, а другие токоферолы не всасываются или всасываются в меньшей степени. Более того, токоферолы обладают свойствами, которые могут оказывать прооксидантный эффект, а также проявляют антинитрирующие свойства [17].

В литературе описаны не антиоксидантные и не прооксидантные молекулярные механизмы токоферолов, которые продуцируются α -токоферолом, а не β -токоферолом, и обнаружены специфические ингибирующие эффекты α -токоферола на протеинкиназу C, рост определенных клеток и на транскрипцию некоторых генов (CD36 и коллагеназы). В ходе исследования были фиксированы процессы активации протеинфосфатазы PP2A, повышенной активности транскрипции гена α -тропомиеозина и гена фактора роста соединительной ткани. Кроме того, были описаны не антиоксидантные молекулярные механизмы, связанные с действием γ -токоферола, δ -токоферола и токотриенолов [18].

Как отмечалось выше, витамин E включает в себя восемь жирорастворимых веществ, которые подразделяются на две большие группы, различающиеся гидрофобными составляющими:

- токоферолы (в соответствии с количеством и местом присоединения метильных групп различают α -, β -, γ - и δ -токоферолы);
- токотриенолы (α -, β -, γ - и δ -токотриенолы).

Только α -токоферол является эффективным источником витамина E для организма, что обусловлено высоким уровнем его усвояемости. Этот витамин распределяется по организму с помощью белка α -токоферолтранспортирующего протеина (α -ТТР), который синтезируется в печени. Однако следует отметить, что α -ТТР имеет низкую специфичность к другим семи изомерам витамина E, что может оказывать влияние на их биоусвояемость [19].

На биодоступность витамина E у крупного рогатого скота влияют многочисленные факторы, включая:

- количество витамина E, содержащегося в кормах;
- качество, технология заготовки и хранения корма;
- пол животного;
- белки, участвующие в усвоении витамина E, и индивидуальные различия в эффективности усвоения, на которые влияют, например, заболевания;
- метаболизм витамина E;
- генетические полиморфизмы.

На некоторые факторы, влияющие на биодоступность витамина E, воздействовать невозможно, такие как пол животного, возраст или генетическая предрасположенность, тогда как другие зависят от индивидуальных особенностей и могут быть обобщены как фактор абиотического существования [20].

Различия в физиологическом действии витамина Е может изменять его статус при распределении в организме. Хотя усвоение витамина Е может активно регулироваться, например, общим количеством потребляемого витамина Е, разными факторами кормления, всасывание и транспортирование в основном зависят от состояния здоровья животных, на регуляцию метаболизма витамина Е лишь частично влияют экзогенные факторы [21].

При химическом синтезе α -токоферола получают рацемическую смесь всех 8 возможных изомеров (RRR, RSS, RSR, RSS, SRR, SRS, SSR и SSS) α -токоферола в эквивалентных концентрациях (синтетическая форма, также называемая α -токоферолом *all-rac* и исторически обозначаемая dl- α -токоферолом) с четырьмя стереоизомерами, показывающими конфигурацию 2R (RRR, RRS, RSS, RSR, имеющие конфигурацию R в положении 2' фитильного хвоста) [22]. Среди возможных различных форм α -токоферола, α -токоферол RRR является единственной изомерной формой витамина Е (имеет конфигурацию R в положении 2, 4 и 8 (т. е. 2R, 4R, 8R), вырабатываемой растениями (природная форма, исторически обозначаемая как d- α -токоферол) и, следовательно, единственной, которая естественным образом присутствует в кормах. Свободные формы легко окисляются, они более стабильны, и поэтому такие формы, как ацетатный и сукцинатный эфиры α -токоферола (RRR α -токоферилацетат, RRR α -токоферил сукцинат, *all-rac* α -токоферил-ацетат, *all-rac* α -токоферил сукцинат) были синтезированы для использования в качестве кормовых добавок. Сложные эфиры очень устойчивы к окислению *in vitro*, однако, они гидролизуются в кишечнике животного, чтобы освободить токоферол, который проявляет свою активность *in vivo* [23].

Ацетатный эфир α -токоферола *all-rac* (*all-rac* α -токоферилацетат) является наиболее распространенной и применяемой формой при использовании добавок витамина Е в кормлении животных из-за низкой стоимости и высокой стабильности. Стереоизомеры витамина Е обладают разной биопотенцией, причем форма RRR обладает большей активностью, чем форма *all-rac* [24]. Количество витамина Е принято обозначать в международных единицах – МЕ. 1 МЕ витамина Е определяется как 1 мг α -токоферилацетата *all-rac*, как 0,74 мг α -токоферилацетата RRR и 0,67 мг α -токоферола RRR [25]. Синтетический витамин Е содержит всего 12,5 % RRR- α -токоферола природной

формы витамина Е, а остальные семь стереоизомеров имеют другую молекулярную конфигурацию и более низкую биологическую активность [26]. В целом, формы 2R являются биодоступными, а формы 2S имеют очень низкую биодоступность или вообще не являются биодоступными у людей и животных [27]. Так, например, у молочного скота на RRR-изомер приходится 84–88 % всех изомеров в крови и молоке [28], независимо от типа и количества добавок с витамином Е. Таким образом, биодоступность RRR α -токоферил-ацетата по отношению к *all-rac* α -токоферил-ацетату составляет по меньшей мере 2:1 у молочного скота [7]. Как синтетический *rac*- α -токоферол, так и экстрагированный натуральный RRR- α -токоферол обычно ацетируют, поскольку ацетатный эфир более стабилен при обращении и хранении, чем спиртовая форма [29]. Благодаря своим жирорастворимым свойствам витамин Е входит в состав органелл для хранения липидов и плазматических мембран, поэтому он также широко распределен по организму [30, 31].

Метаболизм витамина Е осуществляется ферментами печени. Попав в нее вместе с током крови, вещество соединяется со специфическим белком и образует одну из своих форм альфа-токоферол. Остальные соединения выводятся вместе с желчными кислотами через почки с мочой [32]. Сложные эфиры токоферола гидролизуются до свободного токоферола, затем всасываются через слизистую оболочку кишечника. Все формы витамина Е всасываются лимфатическим путем, поглощаются клетками кишечника и высвобождаются в кровотоке с хиломикронами. Далее попадают в печень и через остатки хиломикронов специфический белок α -ТТР избирательно сортирует не только α -форму всех токоферолов, но также стереоизомеры 2R [33]. В литературных источниках показано, что 2R-изомеры в сравнении с 2S-изомерами преимущественно сохраняются в плазме и во всех тканях, за исключением печени [34, 35]. Считается, что деградация и всасывание витамина Е происходит в тонком кишечнике вместе с жиром в присутствии солей желчных кислот [36, 37], а не в желудке [32].

Одним из источников витамина Е для крупного рогатого скота являются растительные корма. Особенно богаты им растительные масла и зародыши зерновых культур, луговая трава, клевер, люцерна, травяная мука, измельченные семена. Меньшее количество витамина Е содержится в зерне злаковых,

отрубях, жмыхах. Корма животного происхождения и шроты маслянистых культур содержат мало витамина Е [38].

Растительные корма, содержащие природный изомер RRR α -токоферола, обладают высокой степенью биодоступности [39]. На биодоступность витамина Е в зеленых кормах может влиять вид растения, его зрелость на момент сбора и условия, при которых происходит обработка и хранение [40]. Кормовые растения в ранние фазы вегетации содержат довольно высокое содержание α -токоферола, особенно молодая трава (разнотравье), 60–90 мг/кг корма и животные, находящиеся на пастбище, получают достаточное количество витамина Е [41]. Концентрация α -токоферола варьируется в зависимости от кормовых растений, методов заготовки кормов и в целом снижается по мере созревания растений [42].

Силосование зеленой массы приводит к меньшим потерям α -токоферола, чем при заготовке сена, в силосе из злаково-бобовых культур установлены более высокие концентрации α -токоферола, чем в цельнозерновом и кукурузном силосах [43]. Это можно связать с тем, что в анаэробных условиях распад витамина Е в силосной массе вряд ли возможен, при этом значительные потери происходят еще в процессе подвяливания, поэтому чем дольше зеленая масса находится в поле, тем выше потери токоферолов. Из-за нарушения технологии заготовки травяных кормов, например, при длительной закладке траншеи и недостаточной трамбовке потери витамина Е достигают 80 %. Практически отсутствует токоферол в силосе и сенаже, если температура в траншее повышалась до 50–60 °C¹. В зерновых кормах количество токоферолов варьирует от 4,2 до 53,0 мг/кг корма, во время хранения, досушивания, механического воздействия концентрация витамина сокращается, в зеленой траве от 28 до 100 мг/кг корма, при этом в листьях его значительно больше, чем в стеблях. В отходах маслоэкстракционного и технического производств, а также в кормах животного происхождения (рыбная, кровяная, мясокостная мука) из-за перекисей, образующихся при хранении кормов, происходит разрушение витамина Е [44].

Содержание антиоксидантов в грубых кормах сильно варьирует в зависимости от

многочисленных факторов (места произрастания, климата, фазы заготовки): зеленая масса содержит гораздо больше витамина Е, чем консервированные корма, такие как люцерновый и кукурузный силос или сено [45]. Однако в последние десятилетия системы кормления изменились в сторону большего включения объемистых консервированных кормов и исключения количества свежей травы, что сокращает поступление витамина Е в рационы крупного рогатого скота [46]. Следовательно, молочный скот, содержащийся на современных комплексах, не получает с кормами природные антиоксиданты и испытывает более высокий окислительный стресс [47], а витамин Е важен для регуляции иммунитета и снижения окислительного стресса, которые являются одним из факторов устойчивости и восприимчивости к маститу [48, 49], и создает защитный барьер эндотелиальных клеток молочной железы коров от повреждения, вызванного прооксидантами [50].

Поскольку витамин Е действует как антиоксидант, разрушающий цепи в клеточных мембранах, где основная функция заключается в предотвращении окислительного повреждения путем улавливания активных оксирадикалов [51], он также необходим для таких функций организма, как рост, размножение, иммунитет и для профилактики заболеваний и защиты тканей [52].

Значительные исследования посвящены пониманию механизмов и потребности в витамине Е, так как он сохраняет целостность клеточных и сосудистых мембран, в том числе мембран кишечных и мышечных клеток, но прежде всего модулирует иммунную систему, уменьшает воспаление, приводит к снижению уровня стресса и повышает фертильность благодаря своим антиоксидантным свойствам [53]. При рассмотрении суточной потребности организма животных в токоферолах, следует отметить, что эта потребность значительно колеблется и зависит, в первую очередь, от состава кормов в рационе, содержания жира в нем, обеспеченности другими витаминами и минеральными веществами, протеином, отдельными аминокислотами. Удовлетворение в потребности в витамине Е резко изменяется в зависимости от состояния здоровья, условий содержания и продуктивности животных, климатических условий и времени года [54].

¹Шпаар Д. Кормовые культуры. Производство, уборка, консервирование и использование грубых кормов: учебно-практическое руководство. М.: ИД ООО «DLV Агродело», 2009. Т. 1. 784 с.

URL: https://pro3001.narod.ru/001/xrushev2/Diter_Shpaaar_Kormovye_kultury.pdf

Уровень витамина Е у новорожденных телят в значительной степени зависит от рациона кормления коров в сухостойный период и потребления молозива, которое является основным путем доставки жирорастворимых витаминов. Скармливание молозива повышает уровень витамина Е у новорожденных телят, в 100 г которого содержится от 60 до 1040 мкг витамина Е [55]. Содержание жира и жирорастворимых витаминов в молозиве влияет на уровень витамина Е и антиоксидантный статус новорожденных телят [56].

Необходимо отметить, что установленные нормы потребности крупного рогатого скота в витамине Е не являются окончательными и подвергаются корректировкам в соответствии с новыми исследованиями, подчеркивающими значимость данного витамина. С каждым годом публикуются исследования с более глубоким анализом и пониманием роли витамина Е в метаболизме животных, что приводит к корректировке ранее установленных норм потребления [57]. Так, NRC 1984 – норма потребности крупному рогатому скоту находилась в диапазоне 15-60 мг/кг массы тела. В NRC 2001 потребность в бета-токофероле для молочного скота в период лактации была увеличена примерно до 65 мг/кг массы тела из-за доказанной роли витамина Е на здоровье и иммунную функцию.

По оценкам «Nutrient requirements of dairy cattle» 2001 и 2021 гг., уровень витамина Е в рационах телят молочного периода выращивания был увеличен до 50 МЕ/кг на 1 кг сухого вещества (приблизительно 30 МЕ/сут), рекомендация 2001 года [6, 7]. Это можно связать с исследованиями 1987 года [58], где приводятся данные о динамике интенсивности роста, когда телятам скармливали 125 или 250 МЕ витамина Е по сравнению с телятами, которым не давали дополнительного витамина Е, и было отмечено, что потребность в витамине Е увеличивается с изменением живой массы. Поэтому дозировка витамина Е или эквивалентов могут варьировать в зависимости от нормы кормления и прогнозируемого плана роста молодняка крупного рогатого скота [59]. Ученые ВИЖа (2018) в монографии «Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах» указали, что для молодняка крупного рогатого скота при интенсивном выращивании телок в возрастном периоде от 1 до 6-месячного возраста и при представленной

живой массе норма в витамине Е в расчете на 1 голову в сутки требуется от 30 до 200 мг, с 6 до 12 месяцев – 220-300 мг [5]. В 1976 году немецкий ученый Э. Визнер отмечал, что потребность в витамине Е, а также механизм его биохимического воздействия на организм до сих пор не полностью изучены. В связи с этим, для оценки суточной потребности в данном витамине используется косвенный подход, основанный на расчете дозы витамина Е, которая варьируется от 1 до 2 мг на каждый килограмм живой массы животного, в зависимости от вида животного и его продуктивности [38].

Телята с низкой концентрацией витамина Е в плазме крови более восприимчивы к инфекциям. При концентрации витамина Е в плазме ниже 0,5 мг/л является смертельной, ниже 1,5 мг/л свидетельствует о дефиците, а выше 3,0 мг/л – обеспечивающей оптимальное функционирование иммунной системы [17].

Положительное влияние добавок витамина Е на иммунную функцию крупного рогатого скота включает стимуляцию синтеза сывороточных антител (особенно IgG) и приводит к снижению выработки глюкокортикоидов, а инъекция витамина Е телятам живой массой 45 кг, содержащая 300 мг α -токоферола ацетата и 6 мг селена, привела к изменению гематологических показателей, а именно произошло изменение количества лимфоцитов и улучшились показатели антиоксидантной способности [60]. Вакцинация новорожденных телят породы джерси в течение первых двух недель жизни витамином Е в количестве 2000 МЕ один раз в неделю значительно улучшила концентрацию IgG в сыворотке крови и превысила 100 г/л, что свидетельствует о резком усилении активного иммунитета [61]. Добавление витамина Е телятам повлияло на концентрацию IgM [62], а также на передачу сигнала и активность нейтрофилов [63].

Телятам японской породы вагю скармливали витамин Е в количестве 300 МЕ/сут в возрасте от 1 до 3 месяцев, что повлияло на количество иммунных клеток в периферической крови. Наивысшая концентрация витамина Е в сыворотке крови была отмечена в возрасте двух и трех месяцев по сравнению с контрольной группой ($P < 0,01$), также Т-лимфоциты хелперы с разными фенотипами (CD3+, CD4+, CD21+, CD335+, CD8+ и CD14+) были достоверно ($P < 0,05$) выше в опытной группе, чем в контрольной [64].

В ходе проведенного экспериментального исследования была изучена эффективность добавления витамина Е в рацион телят в возрасте от 12 до 18 недель. В качестве критерия оценки влияния использовали биомаркеры окислительного стресса, измеренные в образцах крови животных. Результаты исследования свидетельствуют о статистически значимом снижении концентрации активных метаболитов кислорода в сыворотке крови у опытных телят. Данный факт указывает на наличие положительного воздействия витамина Е на окислительный стресс, что подтверждает его потенциальную защитную роль в противодействии окислительным процессам в организме [65].

Так как витамин Е влияет на созревание иммунной системы и на это указывает выработка оксида азота мононуклеарными лейкоцитами крови, а выработка оксида азота в ювенильных лейкоцитах выше, чем в зрелых клетках, то витамин Е может играть определенную роль в созревании этих клеток, уменьшая потенциальное повреждение, вызванное избыточной выработкой оксида азота [66]. Телятам с заболеваниями дыхательных путей добавляли α -токоферол, и они выздоравливали быстрее в сравнении с аналогами, не получавшими добавки [67]. Также показано, что α -токоферол оказывает защитное действие на лейкоциты, участвующие в защите от *Mannheimia haemolytica* [68]. В исследовании по изучению уровня витамина Е в сыворотке крови телят он был ниже, чем необходимо для возраста 2–7 дней – $<0,8$ мкг/мл, более 7 дней – $<0,5$ мкг/мл, они в 3,2 раза чаще получали лечение от энтерита, чем телята с более высокими концентрациями витамина [69]. При изучении комбинации флорфеникола и флуниксина в сочетании с витамином Е отмечали снижение окислительного стресса у телят, инфицированных респираторно-синцитиальным вирусом крупного рогатого скота (RSV), и группы телят, получавших ингибитор циклооксигеназ в сочетании с витамином, имели значительно более низкие концентрации тиобарбитуровой кислоты (TBARS) и нитрат-ионов оксида азота [70].

При изучении снижения воздействия теплового стресса на организм телят была использована кормовая добавка, состоящая из хрома – 0,5 мг, витамина Е – 500 МЕ и селена – 0,3 мг, что в результате привело к значительному снижению ($P<0,05$) уровня кортизола и ректальной температуры [71].

Применение в кормлении телят молочного периода витамина Е и селена привело к повышению титров антител и усилению фагоцитарной активности [72]. В исследованиях, проведенных в США, где оценивали влияние кормового витамина Е на признаки, связанные с токсокозом овсяницы, отмечена повышенная скорость роста и тенденция к улучшению пассивного иммунного статуса у телят [58]. Другие авторы сообщают, что добавление витамина Е улучшает иммунный ответ на вакцинацию *Pasteurella multocida* у помесных телят [73].

Перевод телят с молока или ЗЦМ на основной рацион является важным этапом, в этот период происходит снижение антиоксидантного статуса, что оказывает отрицательное воздействие на устойчивость к болезням. В результате исследования при смене рациона (61-й день в возрасте) содержание RRR- α -токоферола в плазме крови составило – 0,8 мкг/мл, концентрация витамина Е в плазме крови менее 0,5–1,0 мкг/мл считается недостаточной. Снижение содержания витамина Е в плазме крови в послемолочный период может быть связано со сменой рациона кормления с высоким содержанием жира (из-за молока или заменителей молока) на растительный рацион, который обычно содержит <5 % жира в пересчете на сухое вещество. Кроме того, полиненасыщенные жиры могут препятствовать всасыванию α -токоферола, обеспечивая недостаточный субстрат для мицелляризации во время переваривания и транспортировки в кишечнике [74]. В другом исследовании говорится, что скармливание 60 или 120 мг/кг на 1 кг сухого вещества RRR- α -токоферола было недостаточно для поддержания оптимальной концентрации витамина Е в плазме крови, тогда как 200 мг/кг на 1 кг сухого вещества поддерживали уровень в плазме в течение 2 недель после перевода на основной рацион (послемолочный период) [75]. Другие авторы рекомендовали, чтобы содержание α -токоферола в рационах телят в послемолочный период составляло 200 мг/кг живой массы. Эти авторы также сравнили источники витамина Е – 200 мг/сут RRR- α -токоферола (ALC), 200 мг/сут RRR- α -токоферилацетата (ACT) или 200 мг/сут полностью *rac*- α -токоферилацетата (SYN). Концентрация α -токоферола в плазме крови в послемолочный период составляла 2,7, 2,1, 1,1 и 0,8 мкг/мл для ALC, ACT, SYN и контроля соответственно, в результате проведенных

исследований пришли к выводу, что 200 мг/кг АЛС было наиболее эффективным для поддержания уровня витамина Е в плазме крови в изучаемый период [76].

Уровень выбраковки лактирующих коров значительно увеличился, при этом сокращается продолжительность их жизни, и этот вопрос вызывает беспокойство во всем мире. За последние десятилетия системы кормления изменились в сторону большего включения консервированных кормов и уменьшения количества свежей травы, что ограничивает поступление витамина Е в рацион молочных коров [77]. Также из-за высокого окислительного стресса, вызванного увеличением производства молока и современной генетикой, потребность в витамине Е может увеличиваться [48]. В одной из работ приводится мета-анализ данных о влиянии замены свежей травы и сена на силос, что повлияло почти на 50 % выбраковок и было связано с увеличением количества соматических клеток в молоке и низкой устойчивости к клиническому маститу (23 %) и яловостью (26 %) [78], в других работах рассматривается синдром низкой воспроизводительной способности, выраженный у современных коров, который следует рассматривать как многофакторный. Управление стадом и кормление должны быть адаптированы таким образом, чтобы позволить коровам с высокой молочной продуктивностью справляться с повышенными метаболическими потребностями, так как увеличение производства молока подразумевает более высокие потребности в питательных веществах, и без пересмотра структуры рациона коров все это приводит к отрицательному энергетическому балансу и усилению окислительного стресса [79, 80]. Помимо высоких требований, окислительная активность превышает нейтрализующую способность антиоксидантов, естественным образом вырабатываемых организмом. В дополнение к этим ферментным антиоксидантам с кормом могут поступать антиоксиданты, например, как витамин Е [81].

По вопросу потребности коров молочного направления продуктивности в витамине Е данные очень разноречивы. Так, на основании анализа литературы по данным зарубежных авторов, норма витамина Е для лактирующих коров – 1,8 МЕ на 1 кг живой массы, для сухостойных коров и нетелей – 2,6 МЕ на 1 кг живой массы или от 18 до 73 МЕ *all-rac* α -токоферола/кг на кг сухого вещества для сухостойных и лактирующих коров [7], в литературе рос-

сийских исследователей норма потребности в витамине Е составляет 30–36 мг на 1 кг ЭЖЕ, или 20–40 мг на 100 кг живой массы [5].

Хотя в исследованиях некоторых ученых рекомендуемые дозы в витамине Е составляют от 1000 до 3000 мг и от 500 до 1000 мг для сухостойных и лактирующих коров соответственно, что выше по рекомендации NRC 2021 г. (т. е. 1200 мг/голову и 545 мг/голову в сутки), увеличение перорального приема витамина Е в дозе 1000 мг на корову в сутки может приводить к снижению содержания соматических клеток в молоке на 30 % [82, 83]. Противоречивые результаты предыдущих исследований могут быть обусловлены различными источниками вариаций и взаимодействий, которые невозможно полностью контролировать в рамках отдельных исследований. Несколько других факторов могут влиять на доступность витамина Е и его эффективность у животных, включая источник активного вещества витамина Е, другие питательные вещества в кормах [84], изменение содержания витамина Е в базовом рационе [41], также способа введения (например, гранулы из рубца или премиксы) в рацион или в виде инъекций, применяемых в течение разных периодов времени и с разной частотой у коров [85].

В течение последнего времени (10–20 лет) наблюдается значительное увеличение надоев молока, изменение структуры рациона и видов кормов, скармливаемых коровам. Все это неизбежно приводит к уменьшению способности противостоять стрессу и, как следствие, к ослаблению иммунитета, фертильности. В итоге снижается продуктивность, плодовитость и срок хозяйственного использования коров, одной из причин является резкое понижение содержания витамина Е в организме, особенно в период раздоя.

Исследования показали, что добавление в рацион коров витамина Е глубококостельным коровам позволило уменьшить количество задержаний последа, клинических маститов и инфекционных заболеваний молочной железы [86].

Концентрация α -токоферола в плазме крови резко падает незадолго до отела и остается низкой в течение нескольких дней [87], в этот же период происходит снижение иммунной функции у молочных коров [88]. Одна из причин заключается в том, что концентрация липопротеидов плазмы, переносчиков витамина Е, сильно понижается на поздних сроках стельности [89]. Потребление корма убавляется

в течение того же периода, но снижение содержания витамина Е в плазме крови происходит, даже при сохранении его потребления. Самые низкие концентрации α -токоферола в плазме крови отмечены в новотельный период, это связано с повышенным риском проблем со здоровьем, включая мастит, высокий уровень соматических клеток, смещение сычуга и задержку отделения последа [87, 90]. В опыте коровам за 14 дней до предполагаемого отела и 14 дней после отела в рацион не добавляли витамин Е и 2500 мг/сут α -токоферилацетата *all-rac*, при этом концентрация α -токоферола в плазме коров, молозиве, молоке и нейтрофилах крови была самой высокой при введении RRR и низкой у коров, которым не давали дополнительно витамин Е [91]. Низкие значения концентрации витамина Е в крови во время отела могут быть объяснены окислительным стрессом, вызванным небольшим потреблением корма в этот период, а также высокими энергетическими потребностями коровы в новотельный период [92, 93]. Сразу после отела коровы подвергаются высокой липомобилизации, которая быстро увеличивает концентрацию неэтерифицированных жирных кислот в крови [94], что приводит к чрезмерной окислительной активности и интенсивному использованию антиоксидантов, таких как витамин Е [95].

Добавление от 2000 до 4000 МЕ витамина Е в сутки в течение 2 недель до предполагаемого отела снижало частоту инфицирования молочных желез, клинического мастита в сравнении с коровами, получавшими 1,0 МЕ дополнительного витамина Е в течение этого периода [83, 96]. Однако было проведено исследование, где не выявлено положительного эффекта от скармливания 1600 мг RRR- α -токоферола в сутки (3500 МЕ витамина Е) в течение последних 4 недель стельности для здоровья молочной железы послеотельный период, но при этом число мертворожденных телят сократилось [97]. До конца не изучен механизм благотворного воздействия витамина Е на профилактику случаев мастита, но он может включать стимуляцию активности нейтрофилов, при этом было отмечено, что скармливание витамина Е коровам в период раздоя улучшало функцию нейтрофилов, а иногда и макрофагов, в этих исследованиях количество скармливаемого витамина Е варьировало от 1000 до 3000 МЕ/сут [52, 53, 98].

Еще одна интересная область исследований витамина Е в питании животных связана

с его потенциалом повышать эффективность использования кормов жвачных животных, а именно оказывать влияние на микробиоту рубца. В эксперименте с использованием добавки витамина Е в рационе коров оказало положительное влияние на ферментацию в рубце, о чем свидетельствует увеличение газообразования и общей концентрации летучих жирных кислот. Кроме того, при введении α -токоферилацетата в дозе 50 МЕ на животное в сутки в качестве источника витамина Е активность простейших была выше по сравнению с α -токоферолом, при этом α -токоферилацетат также способствовал повышению разлагаемости корма на 8 % [99]. В другом исследовании добавление в рацион коров витамина Е привело к увеличению концентрации простейших *in vitro*, а повышенная концентрация простейших может изменять трансформацию азота в рубце [100]. Структура рациона также влияет на пропорции ацетата, пропионата и бутирата, которые влияют на содержание жира в молоке. Так, добавка с витамином Е привела к повышению концентрации ацетата и пропионата, в то время как концентрация масляной кислоты снизилась [101]. Этот эффект можно объяснить антиоксидантными свойствами витамина Е, которые приводят к повышению уровня бактериальной и простейшей активности в рубце. Также было обнаружено, что высокие дозы витамина Е (12 000 МЕ на голову в сутки) оказывают положительное влияние на ферментацию в рубце и метаболизм крови у молочных коров. Такой эффект достигается за счет регулирования относительной численности микроорганизмов в рубце, что помогает смягчить ряд побочных эффектов, которые обычно связаны с подострым ацидозом рубца [102]. Биологический механизм, лежащий в основе влияния добавок витамина Е на содержание жирных кислот во внутримышечном жире, связан с его способностью изменять пути биогендривирования полиненасыщенных жирных кислот в рубце у молочного и мясного скота [12]. Исследования показали, что витамин Е может действовать либо как ингибитор бактерий, продуцирующих транс-10 C18:1, либо как акцептор электронов для фибринов растворимых волокон, которые играют решающую роль в метаболизме рубца [103]. Добавление витамина Е в рационы жвачным животным может оказывать благотворное влияние на рост простейших и продуктов ферментации в рубце [104].

Есть данные исследований, что витамин Е может снизить потребность в антибиотиках и других фармацевтических препаратах в животноводстве, что может помочь решить проблемы, связанные с устойчивостью к противомикробным препаратам, и улучшить общую картину в сельском хозяйстве [105].

Заключение. Обобщение научных данных по изучению токоферола демонстрирует, что исследования в данной области ведутся уже более 100 лет, а его использование в кормлении животных насчитывает более 80 лет. Первоначально витамин Е применяли с целью усиления репродуктивной функции и коррекции патологических ростовых нарушений, однако с течением времени была определена его химическая структура и выявлены его функции в поддержании иммунитета, противовоспалительных реакциях и гормональном равновесии. Несмотря на значительные достижения в понимании роли витамина Е в питании жвачных животных, ряд вопросов по-прежнему остается без однозначных ответов. В последнее десятилетие глобальные научные усилия были

направлены не только на установление оптимальных уровней введения витамина Е, но и изучение его взаимодействия с другими питательными веществами, влияние на генетическую систему, регуляцию экспрессии генов, сигнальные механизмы в клетке и их коммуникацию, а также эффекты высоких доз токоферола на организм крупного рогатого скота. Поэтому данный обзор представляет собой систематизацию и сравнительный анализ экспериментальных данных, посвященных изучению свойств и эффективности использования витамина Е в кормлении молочного скота. Результаты множества исследований подтверждают актуальность данной проблематики, учитывая значимость витамина Е в организме и невозможности восполнения его через корма и кормовые ресурсы, необходимо обогащать кормовые рационы молочного скота витамином Е, при этом дозировки должны соответствовать индивидуальным потребностям и нормам кормления для различных половозрастных и технологических групп.

References

1. Дуборезов В. М. Кормление молочных коров по детализированным нормам. Молочное и мясное скотоводство. 2020;(4):52–54. DOI: <https://doi.org/10.33943/MMS.2020.19.15.009> EDN: ZHFBNW
Duborezov V. M. Dairy cow feeding and nutrition according to detailed nutrition requirements. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2020;(4):52–54. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33943/MMS.2020.19.15.009>
2. Полищук Т. В., Бондаренко В. В. Изменчивость факториальной зависимости уровня молочной продуктивности коров от лактации. Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2021;(15):237–245. DOI: <https://doi.org/10.47612/2220-8755-2020-15-237-245> EDN: WDMAMD
Polishchuk T. V., Bondarenko V. V. The factor's dependence variability of the level of cow's productivity from lactation. *Aktual'nye voprosy pererabotki myasnogo i molochnogo syr'ya* = Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials. 2021;(15):237–245. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.47612/2220-8755-2020-15-237-245>
3. Шобель П., Сучкова И. Кормовые добавки АПЦ-высокая продуктивность + хорошее здоровье коров. Наше сельское хозяйство. 2020;(24(248)):50–53.
Shobel' P., Suchkova I. APC feed additives - high productivity + good cow health. *Nashe sel'skoe khozyaystvo*. 2020;(24(248)):50–53. (In Russ.).
4. Теребова С. В., Гусаров И. В., Обряева О. Д. Молочное животноводство: проблемы повышения экономической эффективности на основе оптимизации кормления (часть 1). Молочное и мясное скотоводство. 2023;(3):50–56. DOI: <https://doi.org/10.33943/MMS.2023.48.98.009> EDN: BKBFNY
Terebova S. V., Gusarov I. V., Obryaeva O. D. Dairy cattle husbandry: problems of increasing economic efficiency based on feeding optimization (part 1). *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2023;(3):50–56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33943/MMS.2023.48.98.009>
5. Некрасов Р. В., Головин А. В., Махаев Е. А., Аникин А. С., Первов Н. Г., Стрекозов Н. И., [и др.]. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: монография. М.: РАН, Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, 2018. 290 с. Режим доступа: https://animal-ration.ru/wp-content/uploads/2019/02/1nekrasova_r_v_golovina_a_v_makhaeva_e_a_red_normy_potrebnost.pdf
Nekrasov R. V., Golovin A. V., Makhaev E. A., Anikin A. S., Pervov N. G., Strekozov N. I., [et al.]. Normy potrebnostey molochnogo skota i sviney v pitatel'nykh veshchestvakh: monografiya. Moscow: RAN, Federal'nyy nauchnyy tsentr zhivotnovodstva – VIZh imeni akademika L. K. Ernsta, 2018. 290 p. URL: https://animal-ration.ru/wp-content/uploads/2019/02/1nekrasova_r_v_golovina_a_v_makhaeva_e_a_red_normy_potrebnost.pdf
6. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7 th ed. National Academies Press. Washington, D. C., 2001. 381 p. URL: <https://profsite.um.ac.ir/~kalidari/software/NRC/HELP/NRC%202001.pdf>
7. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 8 th ed. National Academies Press, 2021. 484 p. DOI: <https://doi.org/10.17226/25806>

8. Steinshamn H., Leiberb F. Department of Revision of Vitamin E recommendations for dairy cows in organic agriculture: a review-based approach <https://doi.org/10.1080/01448765.2023.2200204> *Biological Agriculture & Horticulture. An International Journal for Sustainable Production Systems*. 2023;39(4):223–246. DOI: <https://doi.org/10.1080/01448765.2023.2200204>
9. Doğru Pekiner B. Vitamin E as an antioxidant. *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*. 2003;32(4):243–267. DOI: https://doi.org/10.1501/Eczfak_0000000393
10. Niki E. Lipid oxidation that is, and is not, inhibited by vitamin E: Consideration about physiological functions of vitamin E. *Free Radical Biology and Medicine*. 2021;176:1–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2021.09.001>
11. Bouwstra R. J., Nielen M., Stegeman J. A., Dobbelaar P., Newbold J. R., Jansen E. H. J. M., van Werven T. Vitamin E supplementation during the dry period in dairy cattle. Part I: adverse effect on incidence of mastitis postpartum in a double-blind randomized field trial. *Journal of Dairy Science*. 2010;93(12):5684–5695. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3159>
12. Idamokoro E. M., Falowo A. B., Oyeagu C. E., Afolayan A. J. Multifunctional activity of vitamin E in animal and animal products: A review. *Journal of Animal Science*. 2020;91(1):e13352. DOI: <https://doi.org/10.1111/asj.13352>
13. Ralla T., Kluenter A. M., Litta G., Müller M. A., Bonrath W., Schäfer C. Over 100 years of vitamin E: An overview from synthesis and formulation to application in animal nutrition. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2024;108(3):646–663. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.13919>
14. Peh H. Y., Tan W. D., Liao W., Wong W. F. Vitamin E therapy beyond cancer: Tocopherol versus tocotrienol. *Pharmacology & Therapeutics*. 2016;162(6):152–169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2015.12.003>
15. Bonrath W., Wyss A., Litta G., Baldeniu K., von dem Bussche & Hünnefeld L., Hilgemann E., Hoppe P., Stürmer R., Netscher T. Vitamins, 4. Vitamin E (Tocopherols, Tocotrienols). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 2021;1–24. DOI: https://doi.org/10.1002/14356007.o27_o07.pub2
16. Traber M. G., Head B. Vitamin E: How much is enough, too much and why! *Free Radical Biology and Medicine*. 2021;177:212–225. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2021.10.028>
17. McDowell L. R., Williams S. N., Hidioglou N., Njeru C. A., Hill G. M., Ochoa L., Wilkinson N. S. Vitamin E Supplementation for the Ruminant. *Animal Feed Science and Technology*. 1996;60(3-4):273–296. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(96\)00982-0](https://doi.org/10.1016/0377-8401(96)00982-0)
18. Azzi A., Stocker A. Vitamin E: non-antioxidant roles. *Progress in Lipid Research*. 2000;39(3):231–255. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0163-7827\(00\)00006-0](https://doi.org/10.1016/S0163-7827(00)00006-0)
19. Scherf H., Machlin L. J., Frye T. M., Krautmann B. A., Williams S. N. Vitamin E Biopotency: Comparison of Various ‘Natural-Derived’ and Chemically Synthesized Alpha-Tocopherols. *Animal Feed Science and Technology*. 1996;59(1-3):115–126. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00892-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00892-6)
20. Leal L. N., Jensen S. K., Bello J. M., Den Hartog L. A., Hendriks W. H., Martín-Tereso J. Bioavailability of α -tocopherol stereoisomers in lambs depends on dietary doses of all-rac- or RRR- α -tocopheryl acetate. *Animal*. 2019;13(9):1874–1882. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731118003373>
21. Schmölz L., Birringer M., Lorkowski S., Wallert M. Complexity of vitamin E metabolism. *World Journal of Biological Chemistry*. 2016;7(1):14–43. DOI: <https://doi.org/10.4331/wjbc.v7.i1.14>
22. Dersjant-Li Y, Peisker M. Utilization of stereoisomers from alpha-tocopherol in livestock animals. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2010;94(4):413–421. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00924.x>
23. Vagni S., Saccone F., Pinotti L., Baldi A. Vitamin E Bioavailability: Past and Present Insights. *Food and Nutrition Sciences*. 2011;2(10):1088–1096. DOI: <https://doi.org/10.4236/fns.2011.210146>
24. Havard S., Leiber F. Revision of Vitamin E recommendations for dairy cows in organic agriculture: a review-based approach. *Biological Agriculture & Horticulture*. 2023;39(4):223–246. DOI: <https://doi.org/10.1080/01448765.2023.2200204>
25. Quek S. Y., Chu B. S., Baharin B. S. Commercial extraction of vitamin E from food sources. In: Preedy V, Watson R, editors. *The encyclopedia of vitamin E*. Wallingford: CAB International, 2007. pp. 140–152. URL: https://www.researchgate.net/publication/288516996_Commercial_extraction_of_vitamin_E_from_food_sources
26. Lashkari S., Jensen S. K., Bernes G. Biodiscrimination of alpha-tocopherol stereoisomers in plasma and tissues of lambs fed different proportions of all-rac-alpha-tocopheryl acetate and RRR-alpha-tocopheryl acetate. *Journal of Animal Science*. 2019;97(3):1222–1233. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skz011>
27. Jensen S. K., Lauridsen C. α -Tocopherol Stereoisomers. *Vitamins & Hormones*. 2007;76:281–308. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0083-6729\(07\)76010-7](https://doi.org/10.1016/S0083-6729(07)76010-7)
28. Kidane A., Nesheim I. L., Larsen H. J. S., Thuen E., Jensen S. K., Steinshamn H. Effects of supplementing mid-lactation dairy cows with seaweed and vitamin E on plasma and milk α -tocopherol and antibody response to immunization. *Journal of Agricultural Sciences*. 2015;153(5):929–942. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859615000052>
29. EFSA Panel on Additives and Products or Substances Used in Animal Feed (FEEDAP). Scientific Opinion on the Safety and Efficacy of Vitamin E as a Feed Additive for All Animal Species. *EFSA Journal*. 2010;8(6):1635. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1635>
30. Bjorneboe A., Bjorneboe G. E., Drevon C. A. Absorption, transport and distribution of vitamin E. *Journal of Nutrition*. 1990;120(3):233–242. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/120.3.233>
31. Wang X., Quinn P. J., Vitamin E and its function in membranes. *Progress in Lipid Research*. 1999;38(4):309–336. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0163-7827\(99\)00008-9](https://doi.org/10.1016/s0163-7827(99)00008-9)

32. Reboul E. Vitamin E Bioavailability: Mechanisms of Intestinal Absorption in the Spotlight. *Antioxidants*. 2017;6(4):95. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox6040095>
33. Brigelius-Flohé R., Kelly F. J., Salonen J. T., Neuzil J., Zingg J. M., Azzi A. The European perspective on vitamin E: current knowledge and future research. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2002;76(4):703–716. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.4.703>
34. Weiser H., Riss G., Kormann A. W. Biodiscrimination of the eight alpha-tocopherol stereoisomers results in preferential accumulation of the four 2R forms in tissues and plasma of rats. *The Journal of Nutrition*. 1996;126(10):2539–2549. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/126.10.2539>
35. Burton G. W., Traber M. G., Acuff R. V., Walters D. N., Kayden H., Hughes L., Ingold K. Human plasma and tissue α -tocopherol concentrations in response to supplementation with deuterated natural and synthetic vitamin E. *The American Journal of Clinical Nutrition* 1998;67(4):669–684. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/67.4.669>
36. Cassano R. Vitamin E chemistry, biological activity and benefits on the skin. *Handbook of diet, nutrition and the skin*. 2012;2(1):144–163. DOI: https://doi.org/10.3920/978-90-8686-729-5_9
37. Lee G. Y., Han S. N. The Role of Vitamin E in Immunity. *Nutrients*. 2018;10(11):1614. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10111614>
38. Визнер Э. Кормление и плодовитость с.-х. животных. Пер. с нем. О. Н. Преображенского. М.: Колос, 1976. 158 с.
Vizner E. Feeding and fertility of farm animals. *Per. s nem. O. N. Preobrazhenskogo*. Moscow: *Kolos*, 1976. 158 p.
39. Blatt D. H., Pryor W. A., Mata J. E., Rodriguez-Proteau R. Re-evaluation of the relative potency of synthetic and natural α -tocopherol: Experimental and clinical observations. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 2004;15(7):380–395. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2003.12.011>
40. Finch J. M., Turner R. J. Effects of selenium and vitamin E on the immune responses of domestic animals. *Research in Veterinary Science*. 1996;60(2):97–106. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(96\)90001-6](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(96)90001-6)
41. Lindqvist H., Nadeau E., Jensen S. K., Søgaard K. α -tocopherol and b-carotene in legume-grass mixtures as influenced by wilting, ensiling and type of silage additive. *Grass and Forage Science*. 2011;67(1):119–128. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12058>
42. Shingfield K. J., Salo-Väänänen P., Pahkala E., Toivonen V., Jaakkola S., Piironen V., Huhtanen P. Effect of forage conservation method, concentrate level and propylene glycol on the fatty acid composition and vitamin content of cows' milk. *Journal of Dairy Research*. 2005;72(3):349–361. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022029905000919>
43. Lindqvist H., Nadeau E., Jensen S. K. Alpha-tocopherol and β -carotene in legume–grass mixtures as influenced by wilting, ensiling and type of silage additive. *Grass and Forage Science*. 2012;67(1):119–128. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00827.x>
44. Qamar A., Saeed F., Nadeem M. T., Hussain A. I., Khan M. A., Niaz B. Probing the storage stability and sensorial characteristics of wheat and barley grasses juice. *Food Science & Nutrition*. 2019;7(3):554–562. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.841>
45. Mogensen L., Kristensen T., Søgaard K., Jensen S. K., Sehested J. Alfa-tocopherol and beta-carotene in roughages and milk in organic dairy herds. *Livestock Science*. 2012;145(1-3):44–54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.12.021>
46. Kalač P., Samková E. The effects of feeding various forages on fatty acid composition of bovine milk fat: a review. *Czech Journal of Animal Science*. 2010;55(12):521–537. DOI: <https://doi.org/10.17221/2485-CJAS>
47. Höjer A., Adler S., Martinsson K., Jensen S. K., Steinshamm H., Thuen E., Gustavsson A.-M. Effect of legume-grass silages and α -tocopherol supplementation on fatty acid composition and α -tocopherol, β -carotene and retinol concentrations in organically produced bovine milk. *Livestock Science*. 2012;148(3):268–281. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5226>
48. Meglia G., Jensen S. K., Lauridsen C., Waller K. P. A-Tocopherol concentration and stereoisomer composition in plasma and milk from dairy cows fed natural or synthetic vitamin E around calving. *Journal of Dairy Research*. 2006;73(2):227–234. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022029906001701>
49. Pekmezci D. Vitamin E and immunity. *Vitamins & Hormones*. 2011;86:179–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386960-9.00008-3>
50. Bivona III J. J., Patel S., Vajdy M. Induction of cellular and molecular Immunomodulatory pathways by vitamin E and vitamin C. *Expert Opinion on Biological Therapy*. 2017;17(12):1539–1551. DOI: <https://doi.org/10.1080/14712598.2017.1375096>
51. Kuhn M. J., Sordillo L. M. Vitamin E analogs limit in vitro oxidant damage to bovine mammary endothelial cells. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(6):7154–7167. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19675>
52. Hogan J. S., Weiss W. P., Smith K. L. Role of vitamin E and selenium in host defense against mastitis. *Journal of Dairy Science*. 1993;76(9):2795–2803. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77618-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77618-3)
53. Politis I., Hidioglou N., Cheli F., Baldi A. Effects of vitamin E on urokinase-plasminogen activator receptor expression by bovine neutrophils. *American Journal of Veterinary Research*. 2001;62(12):1934–1938. DOI: <https://doi.org/10.2460/ajvr.2001.62.1934>
54. Bourne N., Wathes D. C., Lawrence K. E., McGowan M., Laven R. A. The effect of parenteral supplementation of vitamin E with selenium on the health and productivity of dairy cattle in the UK. *The Veterinary Journal*. 2008;177(3):381–387. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.06.006>

55. Fattah A. A. M., Abd Rabo F. H. R., EL-Dieb S. M., Elkashef H. A. S. Changes in composition of colostrum of Egyptian buffaloes and Holstein cows. *BMC Veterinary Research*. 2012;8:19. DOI: <https://doi.org/10.1186/1746-6148-8-19>
56. Quigley III J. D., Bernard J. K. Effects of addition of vitamin E to colostrum on serum α -tocopherol and immunoglobulin concentrations in neonatal calves. *Food and Agricultural Immunology*. 1995;7(3):295–298. DOI: <https://doi.org/10.1080/09540109509354887>
57. Schmidt N., Luhmann T., Hüther L., Meyer U., Barth S. A., Geue L., Menge C., Frahm J., Dänicke S. Effect of vitamin E supplementation in milk replacer and Shiga toxoid vaccination on serum α -tocopherol, performance, haematology and blood chemistry in male Holstein calves First published. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2018;102(5):1167–1180. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.12926>
58. Reddy P. G., Morrill J. L., Frey R. A. Vitamin E requirements of dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 1987;70(1):123–129. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)79987-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)79987-1)
59. Nonnecke B. J., Foote M. R., Miller B. L., Beitz D. C., Horst R. L. Short communication: Fat-soluble vitamin and mineral status of milk replacer-fed dairy calves: Effect of growth rate during the preruminant period. *Journal of Dairy Science*. 2010;93(6):2684–2690. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2892>
60. Mohri M. H., Seifi A., Khodadadi J. Effects of preweaning parenteral supplementation of vitamin E and selenium on hematology, serum proteins, and weight gain in dairy calves. *Comparative Clinical Pathology*. 2005;14(3):149–154. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00580-005-0581-3>
61. Pekmezci D., Cakiroglu D. Investigation of immunomodulatory effects of levamisole and vitamin E on immunity and some blood parameters in newborn Jersey calves. *Veterinary Research Communications*. 2009;33(7):711–721. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11259-009-9220-9>
62. Goodier G. E., Williams J. C., O'Reilly K. L., Snider T. G., Stanley C. C., Dolejsiova A. H., Williams C. C. Effects of supplemental vitamin E and lasaoid on growth and immune responses of calves challenged with *Eimeriabovis*. *The Professional Animal Scientist*. 2012;28(1):97–107. URL: https://www.researchgate.net/publication/237080842_Effects_of_supplemental_vitamin_E_and_lasaoid_on_growth_and_immune_responses_of_calves_challenged_with_Eimeria_bovis
63. Higuchi H., Nagahata H. Effects of vitamins A and E on superoxide production and intracellular signaling of neutrophils in Holstein calves. *Canadian journal of veterinary research=Revue canadienne de recherche vétérinaire*. 2000;64(1):69–75. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10680660/>
64. Otomaru K., Saito Sh., Endo K., Kohiruimaki M., Ohtsuka H. Effect of supplemental vitamin E on the peripheral blood leukocyte population in Japanese black calves. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2015;77(8):985–988. DOI: <https://doi.org/10.1292/jvms.15-0060>
65. Otomaru K., Miyahara T., Saita H., Yamauchi Sh., Nochi T. Effects of vitamin E supplementation on serum oxidative stress biomarkers, antibody titer after live bovine respiratory syncytial virus vaccination, as well as serum and fecal immunoglobulin A in weaned Japanese Black calves. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2022;84(8):1128–1133. DOI: <https://doi.org/10.1292/jvms.22-0170>
66. Rajaraman V., Nonnecke B. J., Franklin S. T., Hammel D. C., Horst R. L. Effects of vitamin A and E on nitric oxide production by blood mononuclear leukocytes from neonatal calves fed milk replacer. *Journal of Dairy Science*. 1999;81(12):3278–3285. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75892-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75892-8)
67. Carter J. N., Gill D. R., Krehbiel C. R., Confer A. W., Smith R. A., Lalman D. L., Claypool P. L., McDowell L. R. Vitamin E supplementation of newly arrived feedlot calves. *Journal of Animal Science*. 2005;83(8):1924–1932. DOI: <https://doi.org/10.2527/2005.8381924x>
68. Urban-Chmiel R., Hola P., Lisiecka U., Wernicki A., Puchalski A., Dec M., Wysocka M. An evaluation of the effects of α -tocopherol and ascorbic acid in bovine respiratory disease complex occurring in feedlot calves after transport. *Livestock Science*. 2011;141(1):53–58. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2011.05.003>
69. Waldner C. L., Uehlinger F. D. Factors associated with serum vitamin A and vitamin E concentrations in beef calves from Alberta and Saskatchewan and the relationship between vitamin concentrations and calf health outcomes. *Canadian Journal of Animal Science*. 2017;97(1):65–82. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjas-2016-0055>
70. Wernicki A., Stachura R., Hola P., Puchalski A., Dec M., Stegierska D., Zurek A., Urban-Chmiel R. Efficacy of florfenicol and flunixin followed with vitamin E and/or C on selected oxidative and inflammatory mechanisms in young cattle under transport and adaptation stress. *Medycyna Weterynaryjna*. 2018;74(4):266–271. DOI: <https://dx.doi.org/10.21521/mw.6090>
71. Sultana J. R., Chandra A. S., Ramana D. B. V., Raghunandan T., Prakash M. G., Venkateswarlu M. Effect of supplemental chromium, vitamin E and selenium on biochemical and physiological parameters of Holstein Friesian calves under heat stress. *Indian Journal of Animal Research*. 2022;56(8):921–927. DOI: <https://doi.org/10.18805/IJAR.B-4525>
72. Cipriano J. E., Morrill J. L., Anderson N. V. Effect of dietary vitamin E on immune responses of calves. *Journal of Dairy Science*; 1982;65(12):2357–2365. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82509-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82509-5)
73. Samanta A. K., Dass R. S., Rawat M., Mishra S. C., Mehra U. R. Effect of dietary vitamin E supplementation on serum α -tocopherol and immune status of crossbred calves. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2006;19(4):500–506. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.500>
74. Majlesi A., Yasini S. P., Azimpour S., Mottaghian P. Evaluation of oxidative and antioxidant status in dairy calves before and after weaning. *Bulgarian Journal of Veterinary Medicine*. 2021;24(2):184–190. DOI: <https://doi.org/10.15547/bjvm.2270>

75. Dersjant-Li Y., Jensen S. K., Bos L. W., Peisker M. R. Bio-discrimination of α -tocopherol Stereoisomers in Rearing and Veal Calves Fed Milk Replacer Supplemented with All-rac- α -tocopheryl acetate. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 2009;79(4):199–211. DOI: <https://doi.org/10.1024/0300-9831.79.4.199>
76. Lashkari S., Jensen S. K., Vestergaard M. Response to different sources of vitamin E orally injected and to various doses of vitamin E in calf starter on the plasma vitamin E level in calves around weaning. *Animal*. 2022;16(4):100492. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100492>
77. Kalač P. Carotenoids, ergosterol and tocopherols in fresh and preserved herbage and their transfer to bovine milk fat and adipose tissues: A review. *Journal of Agrobiology*. 2012;29(1):1–13. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10146-012-0001-7>
78. Hemme T., Fagerbeg A., Boelling D., Saha A., Schmeer M., Kühl R., Schier A. Cost component. In *IFCN dairy report 2016* (ed. IFCN). IFCN, Kiel, Germany, 2016. pp. 44–45.
79. Chagas L. M., Bass J. J., Blache D., Burke C. R., Kay J. K., Lindsay D. R., Lucy M. C., Martin G. B., Meier S., Rhodes F. M., Roche J. R., Tchatcher W. W., Webb R. Invited review: New perspectives on the roles of nutrition and metabolic priorities in the subfertility of high-producing dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2007;90(9):4022–4032. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-852>
80. De Bie J., Langbein A., Verlaet A., Florizoone F., Immig I., Hermans N., Franssen E., Bols P., Leroy J. The effect of a negative energy balance status on β -carotene availability in serum and follicular fluid of nonlactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2016;99(7):5808–5819. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10870>
81. Celi P., Gabai G. Oxidant/antioxidant balance in animal nutrition and health: the role of protein oxidation. *Frontiers in Veterinary Science*. 2015;2(9):48. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2015.00048>
82. Politis I., Theodorou G., Lampidonis A. D., Kominakis A., Baldi A. Short communication: Oxidative status and incidence of mastitis relative to blood α -tocopherol concentrations in the postpartum period in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2012;95(12):7331–7335. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5866>
83. Baldi A., Savoini G., Pinotti L., Monfardini E., Cheli F., Dell'Orto V. Effects of vitamin E and different energy sources on vitamin E status, milk quality and reproduction in transition cows. *Journal of Veterinary Medicine Series A*. 2000;47(10):599–608. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0442.2000.00323.x>
84. Chandra G., Aggarwal A., Kumar M. S., Singh A. K., Sharma V. K., Upadhyay R. C. Effect of additional vitamin E and zinc supplementation on immunological changes in peripartum Sahiwal cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2014;98(6):1166–1175. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.12190>
85. Bayril T., Yildiz A. S., Akdemir F., Yalcin C., Köse M., Yilmaz O. The technical and financial effects of parental supplementation with selenium and vitamin E during late pregnancy and the early lactation period on the productivity of dairy cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2015;28(8):1133–1139. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0960>
86. Politis I. Reevaluation of vitamin E supplementation of dairy cows: bioavailability, animal health and milk quality. *Animal*. 2012;6(9):1427–1434 DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731112000225>
87. Goff J. P., Kimura K., Horst R. L. Effect of mastectomy on milk fever, energy, and vitamins A, E, and beta-carotene status at parturition. *Journal of Dairy Science*. 2002;85(6):1427–1436. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74210-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74210-0)
88. Sordillo L. M. Factors affecting mammary gland immunity and mastitis susceptibility. *Livestock Production Science*. 2005;98(1-2):89–99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.10.017>
89. Herdt T. H., Smith J. C. Blood-lipid and lactation-stage factors affecting serum vitamin E concentrations and vitamin E cholesterol ratios in dairy cattle. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 1996;8(2):228–232. DOI: <https://doi.org/10.1177/104063879600800213>
90. Qu Y., Lytle K., Traber M. G., Bobe G. Depleted serum vitamin E concentrations precede left displaced abomasum in early-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(5):3012–3022. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6357>
91. Weiss W. P., Hogan J., Wyatt D. Relative bioavailability of all-rac and RRR vitamin E based on neutrophil function and total α -tocopherol and isomer concentrations in periparturient dairy cows and their calves. *Journal of Dairy Science*. 2009;92(2):720–731. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1635>
92. Ingvarstsen K. L. Feeding-and management-related diseases in the transition cow: Physiological adaptations around calving and strategies to reduce feedingrelated diseases. *Animal Feed Science and Technology*. 2006;126(3-4):175–213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.08.003>
93. LeBlanc S. Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. *Journal of Reproduction and Development*. 2010;56(S):S29–S35. DOI: <https://doi.org/10.1262/jrd.1056s29>
94. Leroy J., Rizos D., Sturmeijer R., Bossaert P., Gutierrez-Adan A., Van Hoeck V., Valecx S., Bols P. Intrafollicular conditions as a major link between maternal metabolism and oocyte quality: a focus on dairy cow fertility. *Reproduction, Fertility and Development*. 2011;24(1):1–12. DOI: <https://doi.org/10.1071/RD11901>
95. Spears J. W., Weiss W. P. Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows. *The Veterinary Journal* 2008;176(1):70–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.015>
96. Weiss W. P., Hogan J. S., Todhunter D. A., Smith K. L. Effect of vitamin E supplementation in diets with a low concentration of selenium on mammary gland health of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 1997;80(8):1728–1737. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76105-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76105-8)

97. Waller P. K., Sandgren H. C., Emanuelson U., Jensen S. K. Supplementation of RRR-alpha-tocopheryl acetate to periparturient dairy cows in commercial herds with high mastitis incidence. *Journal of Dairy Science*. 2007;90(8):3640–3646. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-421>
98. Suwanpanya N., Wongpratoom W., Wanapat M., Aiumlamai S., Wittayakun S., Wachirapakom C. The influence of bovine neutrophils on in vitro phagocytosis and killing of *Staphylococcus aureus* in heifers supplemented with selenium and vitamin E. *Songklanakarin. Journal of Science and Technology*. 2007;29(3):697–706. URL: <https://www.researchgate.net/publication/26469202>
99. Belanche A., Kingston-Smith A. H., Newbold C. J. An integrated multi-omics approach reveals the effects of supplementing grass or grass hay with vitamin E on the rumen microbiome and its function. *Frontiers in Microbiology*. 2016;7:905. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00905>
100. Koenig K. M., Newbold C. J., McIntosh F. M., Rode L. M. Effects of protozoa on bacterial nitrogen recycling in the rumen1. *Journal of Animal Science*. 2000;78(9):2431–2445. DOI: <https://doi.org/10.2527/2000.7892431x>
101. Naziroğlu M., Güler T., Yüce A. Effect of vitamin E on ruminal fermentation in vitro. *Journal of Veterinary Medicine Series A*. 2002;49(5):251–255. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0442.2002.00418.x>
102. Wu Z., Guo Y., Zhang J., Deng M., Xian Z., Xiong H., Liu D., Sun B. High-Dose Vitamin E Supplementation Can Alleviate the Negative Effect of Subacute Ruminal Acidosis in Dairy Cows. *Animals*. 2023;13(3):486. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13030486>
103. Juárez M., Dugan M. E., Aalhus J. L., Aldai N., Basarab J. A., Baron V. S., McAllister T. A. Effects of vitamin E and flaxseed on rumen-derived fatty acid intermediates in beef intramuscular fat. *Meat Science*. 2011;88(3):434–440. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.01.023>
104. Hartmann M. S., Mousavi S., Bereswill S., Heimesaat M. M. Vitamin E as promising adjunct treatment option in the combat of infectious diseases caused by bacterial including multi-drug resistant pathogens – Results from a comprehensive literature survey. *European Journal of Microbiology and Immunology*. 2020;10(4):193–201. DOI: <https://doi.org/10.1556/1886.2020.00020>
105. Hosain M. Z., Kabir S. M. L., Kamal M. M. Antimicrobial uses for livestock production in developing countries. *Veterinary World*. 2021;14(1):210–221. DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.210-221>

Сведения об авторе

✉ **Туаева Евгения Викторовна**, доктор с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г.о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7338-674X>, e-mail: tuaeva80@mail.ru

Information about the author

✉ **Evgeniya V. Tuaeva**, DSc in Agricultural Science, associate professor, leading researcher, the Department of Feeding Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5809-1262>, e-mail: tuaeva80@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author