

Факторы, влияющие на внешние и внутренние показатели качества куриных яиц. Сообщение II. Образование и строение скорлупы; факторы, влияющие на ее качество (обзор)

Алексей Шамилович Кавтарашвили

ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» Российской академии наук (ФНЦ «ВНИТИП» РАН)

Аннотация: Обзор посвящен образованию и строению скорлупы куриных яиц и влиянию на ее качество различных внешних и внутренних факторов. Скорлупа является сложной и совершенной природной упаковкой яйца, защищающей его содержимое от механических повреждений, микробного заражения и испарения воды. Скорлупа состоит из подскорлупных мембран (внешней и внутренней) и собственно скорлупы, включающей мамиллярный, палисадный и вертикальный слои и кутикулу. Основными показателями качества скорлупы яиц, имеющими наибольшее хозяйственное значение считаются толщина и прочность. На них оказывают влияние различные внутренние и внешние факторы, которые, вместе или по отдельности, формируют качество скорлупы снесенного яйца. Из внутренних факторов наибольшее влияние на качество скорлупы оказывает время снесения яйца: наилучшими толщиной и прочностью скорлупы отличаются яйца, снесенные после 12-14 ч дня. С возрастом несушек масса скорлупы обычно возрастает, однако ее толщина и прочность, наоборот, снижаются. У разных генотипов несушек показатели качества скорлупы также различаются. Одним из основных внешних факторов, влияющих на толщину и прочность скорлупы, является минеральное питание несушек. Для сохранения высокого качества скорлупы необходимо оптимизировать содержание в рационе кур кальция, фосфора и натрия. При их нормативных уровнях причину ухудшения качества скорлупы следует искать в возможном дефиците витамина ДЗ, марганца, цинка, йода, кобальта, магния. Необходимо избегать передозировки фосфора и натрия. Частые или кратковременные нарушения минерального питания несушек, а также аминокислотной сбалансированности рациона, в частности, по лизину и метионину, ухудшают качество скорлупы. Своевременный перевод молодок на предкладковый рацион и затем на рационы продуктивного периода позволяет удерживать толщину и прочность скорлупы яиц на высоком уровне. При повышении температуры с 18-22 до 33°C толщина скорлупы снижается на 6-10%, т.е. около 1% на каждый градус. Повышенная концентрация углекислого газа, аммиака и сероводорода в воздухе птичника приводит к снижению качества скорлупы. Качество скорлупы ухудшает наличие в корме микотоксинов, а также стресс птицы, причем тем сильнее, чем дольше он действует. Заболевания воспроизводительных, пищеварительных и дыхательных органов, инфекционные болезни (бронхит, ньюкаслская болезнь, синдром снижения яйценоскости и др.) вызывают различные дефекты скорлупы. При содержании кур в клетках прочность скорлупы выше, чем при других системах. После принудительной линьки прочность и толщина скорлупы значительно улучшаются.

Ключевые слова: куриное яйцо; образование и строение скорлупы яиц; факторы, влияющие на качество скорлупы яиц.

Для цитирования: Кавтарашвили, А.Ш. Факторы, влияющие на внешние и внутренние показатели качества куриных яиц. Сообщение II. Формирование и строение скорлупы; факторы, влияющие на ее качество (обзор) / А.Ш. Кавтарашвили // Птицеводство. – 2023. – №7-8. – С. 37-45.

doi: 10.33845/0033-3239-2023-72-7-8-37-45

Введение. Скорлупа является сложной и совершенной природной упаковкой яйца. Она защищает содержимое яйца от механических повреждений, микробного

заражения и испарения воды (обезвоживания) [1]. При оценке яиц особое внимание уделяется прочности и чистоте скорлупы. Скорлупа яйца должна быть достаточ-

но прочной, чтобы предохранить его от боя и насечки при сборе, упаковке, транспортировке, мойке и других операциях, а также чистой для предотвращения порчи





содержимого яйца при хранении. Эти свойства скорлупы обеспечиваются ее структурой как высокоорганизованного биокерамического комплекса, формирующегося при контролируемом взаимодействии между минеральными и органическими составными частями ее матрикса и условиями содержания и кормления птицы. Качество скорлупы пищевых яиц кур играет ключевую роль в экономике птицеводческих предприятий. Потери товарных яиц по причине плохого качества скорлупы составляют 8-10% и более [2].

В настоящем обзоре рассмотрены вопросы формирования и строения скорлупы куриных яиц, а также влияния на показатели ее качества различных внешних и внутренних факторов.

Строение и образование скорлупы. Спустя 5 ч после овуляции формирующееся яйцо через перешеек яйцевода проходит в скорлуповую железу (матку), где и происходит процесс кальцификации скорлупы, занимающий 16-21 ч. Во время кальцификации скорлупы формирующееся яйцо плавает в жидком секрете матки, содержащем высокие концентрации ионов кальция и гидрокарбоната, необходимых для образования минеральной части матрикса скорлупы. Процесс заключается в контролируемом осаждении карбоната кальция на волокнах внешней подскорлупной мембраны [3-5]. По мере прогресса кальцификации состав маточной жидкости изменяется, что позволяет организму регулировать процессы роста кристаллов кальцита в разных участках кальцифицируемой скорлупы [5].

Минерализованная скорлупа состоит, в основном, из карбона-

та кальция (96%); остальное приходится на органический матрикс (2%), магний, фосфор и ряд микроэлементов [5]. Если смотреть как бы изнутри яйца, то скорлупа состоит из подскорлупных мембран (внутренней и внешней), собственно скорлупы и кутикулы [4,6]. Собственно скорлупа включает мамиллярный (сосочковый), палисадный и вертикальный слои. Подскорлупные мембраны – волокнистые структуры, расположенные между белком и скорлупой яйца. Они образуются в перешейке яйцевода в течение 1,0-1,3 ч и важны для формирования скорлупы, являясь ее несущей основой. Каждая из них состоит из протеиновых волокон, расположенных так, чтобы образовать полупроницаемую мембрану. Внутренняя подскорлупная мембрана остается не кальцифицированной, а волокна внешней мембраны минерализуются, образуя основу для собственно скорлупы [5]. Подскорлупные мембраны состоят примерно на 10% из коллагена и на 70-75% из других белков и гликопротеинов [3]. Минерализованные участки внешней подскорлупной мембраны (ядра кальцификации) притягивают к себе ионы кальция из жидкости матки яйцевода и, таким образом, закладывают основу мамиллярного (сосочкового) слоя скорлупы. Сосочки мамиллярного слоя – небольшие конические образования из органического вещества на месте ядер кальцификации; эти образования пронизываются волокнами внешней подскорлупной мембраны [7]. Мамиллярный слой является главным источником кальция для эмбриона, обеспечивает его механическую защиту и газообмен [8,9]. Образование пор скорлупы

начинается на уровне мамиллярного слоя; одну пору образуют группы из 4-5 сосочков. По мере роста сосочков в ширину и высоту они сохраняют ту же ориентацию относительно друг друга, сохраняя просвет между собой, который затем продлевается по всей толщине скорлупы и образует пору [7].

Поверх мамиллярного слоя далее образуется еще один слой – палисадный, который является основным слоем скорлупы: его толщина составляет порядка 200 мкм, и кристаллы кальцита здесь вырастают длинными, игольчатыми, и ориентированными перпендикулярно к поверхности яйца. Мамиллярный слой является местом формирования структурных дефектов скорлупы, частоту которых можно снизить вводом в рацион несушек органических препаратов селена [10]. Длинные кристаллические «колонны» палисадного слоя растут каждый из своего сосочка мамиллярного слоя, а выше начинают срастаться между собой по мере прогресса кальцификации. Палисадный слой венчает вертикальный слой, в котором плотность кристаллической структуры выше, чем в палисадном [3].

Кутикула скорлупы – слой органического вещества неравной толщины, покрывающий ее наружную поверхность. Она состоит из двух слоев, внутреннего кальцифицированного и внешнего некальцифицированного, которые откладываются прямо поверх вертикального кристаллического слоя скорлупы [11]. Кутикула состоит из гликопротеинов (90%), полисахаридов (4%), липидов (3%) и неорганического фосфора, включая кристаллы гидроксиапатита (3%) [12]. Она содержит порядка 850-870 белков различных типов,



большинство из которых нерастворимы в воде [13]. Кутикула важна для механической защиты, предотвращения инвазий в яйцо микроорганизмов, регуляции газообмена и испарения воды через скорлупу. Антимикробные свойства кутикулы связаны с присутствием в ней таких белков как лизоцим или овотрансферрин [12]. Многие авторы сообщали о высокой корреляции между отсутствием кутикулы и частотой микробных проникновений через скорлупу. На толщину и распределение кутикулы влияют генотип, возраст и система содержания несушек. Было высказано предположение, что количество кутикулы на коричневых яйцах больше, чем на белых [13].

Поры скорлупы куриных яиц (до 10 тыс. на 1 яйцо) имеют воронкообразные устья, открывающиеся на внешнюю сторону скорлупы на уровне кутикулы, и цилиндрический вертикальный канал, проходящий через кристаллический и палисадный слои скорлупы и открывающийся на внутреннюю сторону скорлупы в виде просветов между группами соседних сосочков [14].

Структура скорлупы может оказывать значительное влияние на ее характеристики, прежде всего, толщину и прочность. Предполагают, что основными детерминантами толщины и прочности скорлупы являются не только размер и ориентация кристаллов палисадного слоя, но также пространственная структура его кристаллических колонн. Поэтому можно считать вероятным, что изменения в толщине палисадного слоя могут сами по себе влиять на прочность скорлупы, независимо от структурной организации колонн [15]. Обнаружена корреляция между

прочностью скорлупы и ее кристаллографическим строением. Порядка 40% изменчивости прочности скорлупы может объясняться различиями в пространственной ориентации кристаллов [1,16].

Отложение скорлупы происходит в три основные стадии, совпадающие с последовательными стадиями секреции компонентов органического матрикса в жидкость матки яйцевода. Скорость отложения карбоната кальция в процессе минерализации скорлупы составляет порядка 0,32 г/ч – это самый быстрый из известных биологической науке процессов минерализации [17]. У промышленных кур-несушек процесс минерализации скорлупы занимает в среднем порядка 17 ч, т.е. является самой долгой фазой всего процесса образования яйца [5]. Первая стадия минерализации (инициация) занимает примерно 5 ч. На этой стадии на скоплениях органического вещества на дорсальной стороне внешней подскорлупной мембраны откладываются первые кристаллы кальцита и формируется структура сосочков мамиллярного слоя [3]. Распределение кристаллов кальцита по поверхности подскорлупной мембраны определяется генетически. Вторая стадия минерализации соответствует фазе роста кристаллов и продолжается около 12 ч. Это стадия активной кальцификации, в которую формируется компактный кристаллический палисадный слой скорлупы (2/3 ее общей толщины), начинающийся на вершине сосочков мамиллярного слоя и заканчивающийся вертикальным кристаллическим слоем. Последняя, третья стадия соответствует окончанию кальцификации и продолжается около 1,5 ч [5]. На этой стадии ми-

нерализация прекращается и происходит отложение органической кутикулы, целиком покрывающей поверхность скорлупы [4,18].

Минеральная часть скорлупы связана с органическим матриксом, состоящим из растворимых и нерастворимых протеинов, гликопротеинов и протеогликанов, последовательно секретлируемых в матку в ходе процесса кальцификации. На органический матрикс приходится порядка 2% массы кальцифицированной скорлупы [18]. Протеины матрикса выполняют не только структурную функцию, участвуя в образовании скорлупы, но также участвуют в антимикробной защите яйца [3,4]. Компоненты органического матрикса скорлупы разделяют на три группы, по их происхождению. Первая группа – протеины, которые изначально присутствовали в белке яйца (овальбумин, лизоцим и овотрансферрин). Они откладываются, в основном, в базальных частях скорлупы (подскорлупные мембраны, мамиллярный слой), т.е. преимущественно связаны с начальной стадией кальцификации, но также присутствуют и в кутикуле [4,18]. Вторая группа – протеины, широко распространенные в различных органах и биологических жидкостях организма кур. Эта группа включает остеопонтин, кластерин и гликопротеины (также присутствующие в белке яйца) [4,19]. Третья группа называется скорлупо-специфическими протеинами, поскольку эти протеины были обнаружены именно в скорлупе или в жидкости матки. Их называют овоклейдинами и овокаликсинами; они предположительно выполняют две важные функции в репродукции кур – регуляцию минерализации скорлупы и антимикробную защиту яйца [3].



Факторы, влияющие на качество скорлупы. Показатели качества скорлупы товарных яиц включают пигментацию, массу, толщину, прочность, шероховатость, мраморность, загрязненность [1,2]. При этом наибольшее хозяйственное значение имеет ее прочность, которая тесно связана с толщиной. Поэтому, говоря о прочности скорлупы, часто подразумевают ее толщину [1].

Значение толщины и прочности скорлупы заключается в том, что от величины этих показателей зависит повреждаемость (бой и насечка) яиц и способность их к длительному хранению [20].

На качество скорлупы яиц оказывают влияние многочисленные факторы. Основные внутренние факторы включают, например, время яйцекладки, массу яйца, возраст и генотип несушки. Внешние факторы включают систему содержания несушек, условия кормления и содержания и т.д. Все эти факторы, вместе или по отдельности, формируют качество скорлупы снесенного яйца, причем совместное влияние нескольких факторов сразу может оказаться сильнее, чем влияние этих же факторов по отдельности [20].

Внутренние факторы. Время снесения яйца играет важную роль в формировании качества его скорлупы, поскольку известно, что количество отложенной в яйцо скорлупы линейно зависит от времени, проведенного яйцом в матке яйцевода [21].

Время яйцекладки оказывает влияние на массу и толщину скорлупы. Так, в наших исследованиях масса (абсолютная и относительная) и толщина скорлупы яиц, снесенных курами с 12 до 16 ч дня, были достоверно выше, чем у яиц,

отложенных до 12 ч [22]. Это подтверждается и в исследованиях других авторов [23].

На разных стадиях продуктивного цикла несушек характеристики скорлупы их яиц могут меняться. Только что занесшиеся куры с еще не вполне сформировавшейся скорлуповой железой часто сносят яйца без скорлупы или с тонкой скорлупой [24].

Прочность скорлупы яиц в значительной степени зависит от массы яиц – крупные яйца, по сравнению с мелкими, обычно имеют меньшую сферичность, и значит, меньшую прочность при одинаковой толщине скорлупы [25].

Обнаружена тенденция к снижению толщины и прочности скорлупы яиц с возрастом несушек [26]. По другим данным, прочность скорлупы была выше с начала яйцекладки и до окончания ее первой фазы, а затем снижалась [27].

Снижение толщины и прочности скорлупы с возрастом кур объясняется следующим. Во-первых, при несущественном увеличении абсолютной массы скорлупы с возрастом значительно повышается масса яйца и, следовательно, площадь его поверхности; во-вторых, ухудшается усвоение кальция из корма: в начале продуктивного периода кальций усваивается на 45-60%, а в конце этот показатель снижается до 30-35% и менее [20].

У разных пород, линий и кроссов кур качество скорлупы различается, особенно между белыми и коричневыми несушками. Сообщалось о более высокой прочности скорлупы у белых яичных кур по сравнению с коричневыми, хотя у коричневых кур толщина скорлупы была выше [29]. Также при сравнении коричневых генотипов самая тонкая скорлупа была

обнаружена в яйцах генотипа «Моравия BSL»: в среднем 0,324 мм против 0,358 мм у «Хайсекс Браун» и 0,376 мм у «Иса Браун» [30].

Поскольку наследуемость показателей качества скорлупы низкая (так, коэффициент наследуемости прочности – 0,24 [31]), то при выведении и совершенствовании кроссов следует селекционным путем поддерживать высокий уровень этих показателей во всех линиях и популяциях кур.

Внешние факторы. Минеральное питание несушек – один из основных внешних факторов, влияющих на толщину и прочность скорлупы яиц. В первую очередь, необходимо оптимизировать потребление курами кальция. Лучшим источником кальция в кормлении несушек является ракушка, которая должна содержать не менее 33% этого элемента. Чистая ракушка (без песка) содержит до 38% кальция. Однако ракушка часто бывает очень низкого качества, содержит до 50% песка, а также имеет разнокалиберный гранулометрический состав [1,28].

В качестве источника кальция все шире используется известняк в виде крошек-гранул, стоимость которого значительно ниже, чем ракушки. Он должен обладать высокой сыпучестью, содержать кальция не менее 34%, а также не более 10% влаги и 1,5% магния [20].

Часто причиной снижения прочности скорлупы яиц является кратковременный недокорм или перекорм несушек кальцием, хотя в среднем его уровень остается нормальным. При недостатке кальция в рационе организм птицы расходует кальций из медуллярной кости (до 30-40% от общего расхода), причем этот запас кальция выносится практи-



чески полностью в составе скорлупы всего одного яйца. Качество скорлупы яйца всегда выше, когда на ее формирование организм использует преимущественно кормовой кальций [1,25].

Потребленный с кормом кальций полностью всасывается примерно за 12 ч. Следовательно, если он скормлен до 14 ч дня, то к 2 ч ночи, то есть как раз к моменту интенсивного образования скорлупы у многих кур, он будет полностью выведен из желудочно-кишечного тракта [20].

Качество скорлупы можно улучшить при скармливании корма с высоким содержанием кальция во второй половине дня, или ночью, когда происходит ее формирование. При этом в первую половину дня нельзя снижать уровень кальция в корме менее чем до 2,5%, иначе доведение его до суточной нормы в послеобеденное время чересчур перенасытит корм минеральными добавками и понизит его поедаемость, а это приведет к снижению ожидаемого эффекта [1].

Повышением качества скорлупы яиц кур можно управлять и режимом кормления, например, своевременным переводом молодых курочек на предкладковый рацион, а потом и на рацион для взрослых кур-несушек. Появление в начале яйцекладки яиц с очень тонкой скорлупой может свидетельствовать и о недостаточном запасе кальция в организме [32].

Для оптимизации минерального питания и улучшения качества скорлупы следует также контролировать уровень фосфора в кормах. Потребность несушек в фосфоре невысока (норма ввода общего фосфора 0,6-0,7%, доступного – 0,35-0,45%). С одним яйцом из организма курицы

выводится немногим более 0,1 г фосфора, в т.ч. со скорлупой – менее 0,01 г. Фосфор является антагонистом кальция, поэтому его передозировка приводит к снижению использования кальция из корма, уменьшает резорбцию кальция из костей или ингибирует образование карбоната кальция в скорлупных железах. Лишний фосфор удаляется через почки в виде фосфорно-кальциевых солей, даже если в организме имеет место дефицит кальция. При содержании в кормосмеси 1,2% фосфора скорлупа яиц может стать очень тонкой, даже несмотря на нормальный уровень кальция [1,28].

Оптимальное соотношение между общим кальцием и фосфором в корме при средней яйценоскости кур должно быть 3,5-4,0:1, и по мере увеличения яйценоскости это отношение должно повышаться с 3,5:1 до 5:1 и более [20].

При удовлетворительных уровнях кальция и фосфора в комбикормах причину снижения прочности скорлупы следует искать в возможном дефиците микроэлементов – марганца, цинка, йода (норма ввода в корма соответственно 70-100, 50-70, 0,5-1,0 г/т). В некоторых случаях качество скорлупы повышается при увеличении в рационе уровня кобальта (норма 1 г/т). Избыточное (более 1%) содержание магния в рационе для несушек может значительно увеличить число яиц с тонкой скорлупой [1,25].

На качество скорлупы значительно влияет кормовой уровень натрия. Как и в случае фосфора, следует опасаться, главным образом, его передозировки. Только его острый недостаток (менее 0,10-0,15% от массы сухого корма при

норме ввода 0,16-0,20%) может вызвать у птицы потерю аппетита и, вслед за этим, снижение толщины скорлупы. Из-за антагонизма натрия с целым рядом элементов причиной появления тонкоскорлупных яиц чаще является превышение его уровня в комбикормах, чем пониженный уровень [1,20].

Толщину и прочность скорлупы можно повысить, полностью устранив в рационе несушек недостаток витамина Д₃ (норма ввода 2,5-3,0 млн. МЕ/т корма) [1,25].

О высоком качестве скорлупы необходимо заботиться еще во время выращивания молодняка. В это время нельзя допускать срывов кормления, особенно витаминного и минерального. Цыплята, переболевшие в первый месяц жизни Д-гиповитаминозом, в последующем имеют низкий уровень фосфорно-кальциевого обмена, и у таких кур хуже качество скорлупы [34].

На качество скорлупы положительно влияет оптимизация аминокислотного состава рациона, в частности, доведение до нормы лизина и метионина. Наличие в корме их достаточного количества способствует улучшению всасыванию кальция в кишечнике [28].

При наличии в корме микотоксинов опосредованно, через нарушение обмена веществ, может также резко ухудшиться качество скорлупы [32].

Еще одним важным внешним фактором, влияющим на качество скорлупы яиц, является система содержания кур. Так, было обнаружено, что при содержании несушек в обычных клетках толщина скорлупы их яиц выше, чем при содержании на полу или в меблированных клетках [30,33]. В других



исследованиях толщина скорлупы была выше при содержании кур на глубокой подстилке, чем в клеточном и свободновыгульном содержании [2]. Следует отметить, что хотя в некоторых исследованиях у клеточных несушек толщина скорлупы была ниже, чем у напольных, прочность скорлупы у них наоборот, была выше [30]. Это расхождение авторы объясняют тем, что клеточное содержание может способствовать лучшему проявлению каких-то ультраструктурных (молекулярных) характеристик строения скорлупы, улучшающих ее прочность, а также повышением плотности пор в скорлупе.

На качество скорлупы яиц влияют параметры микроклимата в птичнике. При повышении температуры с 18-22 до 33°C толщина скорлупы снижается на 6-10%, т.е. около 1% на каждый градус. Высокая температура в птичнике приводит к увеличению рН крови, снижению активности щитовидной железы, препятствует образованию в почках активной формы витамина Д₃. При температуре выше 24°C у птицы учащается дыхание и усиливается выведение из организма углекислого газа, необходимого для образования карбоната кальция, являющегося компонентом скорлупы. Кроме того, в условиях высокой температуры уменьшается потребление корма, и вместе с ним кальция на 25-30%. Использование кальция ухудшается вследствие повышенного потребления воды и ускоренного прохождения корма через желудочно-

кишечный тракт. Данные изменения приводят к нарушению микроструктуры как органической, так и минеральной части скорлупы. Отрицательное действие высокой температуры усугубляется повышенной влажностью воздуха, хотя влажность может иметь и самостоятельное значение. Особенно нежелательны значительные изменения температуры ночью, когда формируется скорлупа [20,34].

Качество скорлупы ухудшает повышенная концентрация углекислого газа, аммиака и сероводорода в воздухе птичника (ПДК: СО₂ – не более 0,25% по объему; аммиака – 15 мг/м³ и сероводорода – 5 мг/м³ соответственно) [32].

Любые стрессы, особенно у интенсивно несущейся птицы, ухудшают качество скорлупы. Влияние стресса тем сильнее, чем дольше он действует [1,20].

Существенное влияние на качество скорлупы оказывает общее состояние здоровья несушек. Заболевания воспроизводительных, пищеварительных и дыхательных органов, инфекционные болезни (бронхит, ньюкаслская болезнь, синдром снижения яйценоскости и др.) вызывают различные дефекты скорлупы [28].

Появление бесскорлупных яиц (до 40%) в большинстве случаев связано не с дефицитом кальция, а с неспособностью организма кур переводить кальций из крови в скорлупу в месте ее образования (в матке). Возможными причинами такого явления, помимо недостатка в корме биологически

активных веществ, могут быть различные токсины, а также болезни яйцевода [25].

После принудительной линьки прочность и толщина скорлупы значительно улучшаются [34].

Заключение. Таким образом, скорлупа куриных яиц является сложной и совершенной природной упаковкой яйца. Она защищает содержимое яйца от механических повреждений, микробного заражения и испарения воды и состоит из подскорлупных мембран (внешней и внутренней) и собственно скорлупы, включающей мамиллярный, палисадный и вертикальный слои и двухслойную кутикулу. Основными показателями качества скорлупы яиц, имеющими наибольшее хозяйственное значение, можно считать толщину и прочность. На них оказывают влияние различные внутренние (время яйцекладки, масса яиц, возраст и генотип несушки и т.д.) и внешние (система содержания, условия кормления и содержания) факторы, которые, вместе или по отдельности, формируют качество скорлупы снесенного яйца. Качество скорлупы пищевых яиц кур играет ключевую роль в экономике птицеводческого предприятия. Потери товарных яиц по причине плохого качества скорлупы составляют более 8-10%, и в этой связи толщина и прочность скорлупы подлежат постоянному мониторингу, что позволит оперативно предпринимать соответствующие действия по снижению повреждаемости яиц.

Литература / References

1. Царенко, П.П. Повышение качества продукции птицеводства: пищевые и инкубационные яйца / П.П. Царенко. - Л.: Агропромиздат, 1988. - 240 с. [Tsarenko PP (1988) Improvement of Quality of Poultry Products: Table Eggs and Eggs for Incubation. Leningrad, Agropromizdat Publ., 240 pp. (in Russ.)]



2. Ketta, M. Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens / M. Ketta, E. Tůmová // Czech J. Anim. Sci. - 2016. - V. 61. - No 7. - P. 299-309. doi: 10.17221/46/2015-CJAS
3. Hincke, M.T. The eggshell: structure, composition and mineralization / M.T. Hincke, Y. Nys, J. Gautron K. Mann, A.B. Rodriguez-Navarro, M.D. McKee // Front. Biosci. - 2012. - V. 17. - No 4. - P. 1266-1280. doi: 10.2741/3985
4. Gautron, J. Composition and biomineralization of the eggshell / J. Gautron, M.T. Hincke, Y. Nys // Proc. XIVth Europ. Poult. Conf., Stavanger, Norway. - 2014. - P. 271-286.
5. Nys, Y. Avian eggshell mineralization: biochemical and functional characterization of matrix proteins / Y. Nys, J. Gautron, J.M. Garcia-Ruiz, M.T. Hincke // Comptes Rendus Palevol. - 2004. - V. 3. - No 6-7. - P. 549-562. doi: 10.1016/j.crpv.2004.08.002
6. Hincke, M.T. Biosynthesis and structural assembly of eggshell components / M.T. Hincke, O. Wellman-Labadie, M.D. McKee, J. Gautron, Y. Nys, K. Mann // Egg Bioscience and Biotechnology; Mine Y., Ed.. - John Wiley & Sons Inc., Hoboken, USA. - 2008. - Chpt. 2. - P. 97-128. doi: 10.1002/9780470181249.ch2
7. Solomon, S.E. The eggshell: strength, structure and function / S.E. Solomon // Br. Poult. Sci. - 2010. - V. 51. - Suppl. 1. - P. 52-59. doi: 10.1080/00071668.2010.497296
8. Karlsson, O. Eggshell structure, mode of development and growth rate in birds / O. Karlsson, C. Lilja // Zool. - 2008. - V. 111. - No 6. - P. 494-502. doi: 10.1016/j.zool.2007.11.005
9. Chien, Y.-C. Ultra-structure of avian eggshell during resorption following egg fertilization / Y.-C. Chien, M.T. Hincke, M.D. McKee // J. Struct. Biol. - 2009. - V. 168. - No 3. - P. 527-538. doi: 10.1016/j.jsb.2009.07.005
10. Solomon, S.E. Foundation is key for eggshell quality / S.E. Solomon // World Poult. - 2009. - V. 25. - P. 16-18.
11. Kusuda, S. Diversity of the cuticle layer of avian eggshells / S. Kusuda, A. Iwasawa, O. Doi, Y. Ohya, N. Yoshizaki // J. Poult. Sci. - 2011. - V. 48. - No 2. - P. 119-124. doi: 10.2141/jpsa.010103
12. Mikšik, I. Proteomic analysis of chicken eggshell cuticle membrane layer / I. Mikšik, P. Ergang, J. Pácha // Anal. Bioanal. Chem. - 2014. - V. 406. - No 29. - P. 7633-7640. doi: 10.1007/s00216-014-8213-x
13. Samiullah, S. The eggshell cuticle of the laying hen / S. Samiullah, J.R. Roberts // World's Poult. Sci. J. - 2014. - V. 70. - No 4. - P. 693-708. doi: 10.1017/S0043933914000786
14. Chien, Y.-C. Ultrastructural matrix-mineral relationships in avian eggshell, and effects of osteopontin on calcite growth *in vitro* / Y.-C. Chien, M.T. Hincke, H. Vali, M.D. McKee // J. Struct. Biol. - 2008. - V. 163. - No 1. - P. 84-99. doi: 10.1016/j.jsb.2008.04.008
15. Bain, M. A reinterpretation of eggshell strength / M. Bain // Egg and Eggshell Quality; Solomon S.E., Ed. - Manson Publ., Ltd., London, UK, 1997. - P. 131-141.
16. Rodriguez-Navarro, A.B. Influence of microstructure on the shell strength of eggs laid by hens of different ages / A.B. Rodriguez-Navarro, O. Kalin, Y. Nys, J.M. Garcia-Ruiz // Br. Poult. Sci. - 2002. - V. 43. - No 3. - P. 395-403. doi: 10.1080/00071660120103675
17. Nys, Y. Whitening of brown-shelled eggs: mineral composition of uterine fluid and rate of protoporphyrin deposition / Y. Nys, J. Zawadzki, J. Gautron, A.D. Mills // Poult. Sci. - 1991. - V. 70. - No 5. - P. 1236-1245. doi: 10.3382/ps.0701236
18. Hincke, M.T. The role of matrix proteins in eggshell formation / M.T. Hincke, Y. Nys, J. Gautron // J. Poult. Sci. - 2010. - V. 47. - No 3. - P. 208-219. doi: 10.2141/jpsa.009122
19. Brionne, A. Hen uterine gene expression profiling during eggshell formation reveals putative proteins involved in the supply of minerals or in the shell mineralization process / A. Brionne, Y. Nys, C. Hennequet-Antier, J. Gautron // BMC Genomics. - 2014. - V. 15. - P. 220. doi: 10.1186/1471-2164-15-220
20. Кавтарашвили, А.Ш. Пути снижения боя и насечки яиц в промышленном птицеводстве / А.Ш. Кавтарашвили, Т.М. Околелова // БИО. - 2002. - №4. - С. 34-37. [Kavtarashvili AS, Okolelova TM (2002) How to decrease the incidence of broken and cracked eggs in commercial poultry. *BIO*, (4):34-7 (in Russ.)]
21. Campo, J.L. Differences among white, tinted, and brown egg laying hens for incidence of eggs laid on the floor and for oviposition time / J.L. Campo, M. Garcia-Gil, S.G. Davila // Arch. Geflügelk. - 2007. - V. 71. - No 3. - P. 105-109.
22. Кавтарашвили, А.Ш. О показателях качества яиц у кур кросса *haisex brown* в зависимости от времени яйцекладки / А.Ш. Кавтарашвили // С.-х. биология. - 2021. - Т. 56. - №4. - С. 795-808. [Kavtarashvili AS (2020) *Agric. Biol.*, **56**(4):795-808; doi 10.15389/agrobiology.2021.4.795rus (in Russ.)]
23. Hrnčár, C. The effect of oviposition time on egg quality parameters in Brown Leghorn, Oravka and Brahma hens / C. Hrnčár, M. Hässlerová, J. Bujko // Sci. Pap. Anim. Sci. Biotechnol. - 2013. - V. 46. - No 1. - P. 53-57.
24. Tumova, E. The effect of time of oviposition and age on egg weight, egg components weight and eggshell quality / E. Tumova, Z. Ledvinka // Arch. Geflügelk. - 2009. - V. 73. - No 2. - P. 110-115.



25. Кавтарашвили, А.Ш. Возможные решения проблемы качества скорлупы яиц на птицефабриках / А.Ш. Кавтарашвили, Ш.А. Имангулов, Т.М. Околелова // Птица и птицепродукты. - 2003. - №4. - С. 22-25. [Kavtarashvili AS, Imangulov SA, Okolelova TM (2003) Possible decisions of the problems with eggshell quality on poultry farms. *Poult. Chicken Prod.*, (4):22-5 (in Russ.)]
26. Bozkurt, Z. The effects of hen age, genotype, period and temperature of storage on egg quality / Z. Bozkurt, M. Tekerli // J. Fac. Vet. Med. Univ. of Kafkas. - 2009. - V. 15. - No 4. - P. 517-524. doi: 10.9775/kvfd.2009.041A
27. Pavlik, A. Blood plasma mineral profile and qualitative indicators of the eggshell in laying hens in different housing systems / A. Pavlik, M. Lichovnikova, P. Jelinek // Acta Vet. (Brno). - 2009. - V. 78. - No 3. - P. 419-429. doi: 10.2754/avb200978030419
28. Кавтарашвили, А. Пути снижения боя и насечки яиц в промышленном птицеводстве / А. Кавтарашвили, Т. Околелова // Кормление с.-х. животных и кормопроизводство. - 2007. - №10. - С. 42-47. [Kavtarashvili AS, Okolelova TM (2007) How to decrease the incidence of broken and cracked eggs in commercial poultry. *Nutr. Agric. Anim. Feed Prod.*, (10):42-7 (in Russ.)]
29. Ledvinka, Z. Egg shell quality in some white-egg and brown-egg cross combinations of dominant hens / Z. Ledvinka, E. Tumova, E. Arent, J. Holoubek, L. Klesalova // Czech J. Anim. Sci. - 2000. - V. 45. - No 6. - P. 285-288.
30. Tumova, E. Interaction between housing system and genotype in relation to internal and external egg quality parameters / E. Tumova, M. Englmaierova, Z. Ledvinka, V. Charvatova // Czech J. Anim. Sci. - 2011. - V. 56. - No 11. - P. 490-498. doi: 10.17221/3838-CJAS
31. Zhang, L.C. Heritabilities and genetic and phenotypic correlations of egg quality traits in brown-egg dwarf layers / L.C. Zhang, Z.H. Ning, G.Y. Xu, Z.C. Hou, N. Yang // Poult. Sci. - 2005. - V. 84. - No 8. - P. 1209-1213. doi: 10.1093/ps/84.8.1209
32. Кавтарашвили, А.Ш. Без боя и насечки / А.Ш. Кавтарашвили, Т.М. Околелова // Сучасне птахівництво. - 2007. - №12. - С. 4-9. [Kavtarashvili AS, Okolelova TM (2007) Without breakages and crackles. *Suchasne Ptakhivnitstvo (Ukraine)*, (12):4-9 (in Russ.)]
33. Lichovniková, M. Effect of housing system on the calcium requirements of laying hens and eggshell quality / M. Lichovniková, L. Zeman // Czech J. Anim. Sci. - 2008. - V. 53. - No 4. - P. 162-168. doi: 10.17221/375-CJAS
34. Kavtarashvili, A. The reasons for the deterioration of chicken eggshell quality at high temperatures: a review / A. Kavtarashvili, V. Buyarov // E3S Web of Conferences: ICEPP-2021. - 2021. - V. 247 - Article ID 01015. doi: 10.1051/e3sconf/202124701015

Сведения об авторе:

Кавтарашвили А.Ш.: доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корр. РАН, главный научный сотрудник – зав. лабораторией технологии производства яиц, alexk@vnitip.ru.

Статья поступила в редакцию 21.04.2023; одобрена после рецензирования 26.06.2023; принята к публикации 08.07.2023.

Review article

Factors Affecting Internal and External Parameters of Egg Quality in Chicken. II. Formation and Structure of the Eggshell and Factors Affecting Its Quality (A Review)

Alexey Sh. Kavtarashvili

Federal Scientific Center "All-Russian Research and Technological Institute of Poultry" of Russian Academy of Sciences

Abstract. *The structure and formation of the shell of chicken eggs and internal and external factors affecting its quality are reviewed. Eggshell is a perfect natural "package" of an egg protecting its internal components from mechanical damages, microbial infections, and water losses. The eggshell involves two shell membranes (internal and external), three mineralized crystal layers (mamillary, palisade, and vertical), and two-layer outer cuticle. The most important parameters of eggshell quality are thickness and strength; these parameters can be significantly affected by different internal and external factors and their combinations. The most important internal factor is oviposition*



time: eggs laid after 0-2 hrs pm are characterized by higher thickness and strength than eggs laid earlier in the morning. The weight of the eggshell usually tends to increase with hens' age while thickness and strength, to the contrary, decrease. Eggshell quality also differs between different genotypes of layers. The most important external factor affecting eggshell quality is mineral nutrition of layers. To achieve and maintain high eggshell quality the contents and ratios of calcium, phosphorus, and sodium in layers' diets should be optimized; if this is the case then poor eggshell quality can be induced by some other dietary factors, e.g. deficiencies of vitamin D3, manganese, zinc, iodine, cobalt, magnesium. The excessive dietary levels of phosphorus and sodium should be avoided. Frequent short imbalances in mineral and amino acid (predominantly lysine and methionine) nutrition of layers can result in poor eggshell quality. The proper ages of diet shifts (from diet for pullets to diets for early phase of lay and further for peak and post-peak phases) can also contribute to the maintenance of good eggshell quality throughout the entire productive season. Certain factors of layers' management can affect eggshell quality: e.g. the increase in the ambient temperature in a house from 18-22 to 33°C decreases eggshell thickness by 6-10% (i.e. by ca. 1% per each degree). Eggshell quality can be deteriorated by increased concentrations of harmful gases (carbon dioxide, ammonia, hydrogen sulphide) in the ambient air, presence of mycotoxins in the diets, as well as different stresses acting the stronger on the eggshell the longer these are lasting. Different eggshell defects can also be induced by infectious and/or non-infectious diseases of reproductive, digestive, and respiratory organs of layers (e.g. bronchitis, Newcastle disease, egg drop syndrome 76, etc.). With cage housing of layers eggshell strength is usually higher than with the other housing systems. Eggshell thickness and strength can be significantly improved by the induced molting of the layers.

Keywords: chicken egg; formation and structure of eggshell; factors affecting eggshell quality.

For Citation: Kavtarashvili A.Sh. (2023) Factors affecting internal and external parameters of egg quality in chicken. II. Formation and structure of the eggshell and factors affecting its quality (A review). *Ptitsevodstvo*, 72(7-8): 37-45. (in Russ.)

doi: 10.33845/0033-3239-2023-72-7-8-37-45

(For references see above)

Author:

Kavtarashvili A.Sh.: Dr. of Agric. Sci., Prof., Corr. Member of RAS, Chief Research Officer – Head of Lab. of Egg Production; alexk@vnitip.ru.

Submitted 21.04.2023; revised 26.06.2023; accepted 08.07.2023.

© Кавтарашвили А.Ш., 2023

ОТРАСЛЕВЫЕ НОВОСТИ

**Подмосковная птицефабрика «Элинар-Бройлер»
расширяет производство**

В городском округе Орехово-Зуево крупное предприятие модернизирует мощности.

«Птицефабрика «Элинар-Бройлер» продолжает модернизацию мощностей племенных репродукторов. Так в этом году в Наро-Фоминском округе планируют строительство двух новых корпусов на 21,6 тыс. голов ремонтного молодняка родительского стада. Объем инвестиций в эту стадию проекта, по строительству репродуктора второго порядка превысит 220 млн рублей», – рассказал курирующий Минсельхозпрод зампред Правительства Московской области Георгий Филимонов.

Репродуктор второго порядка – это производство инкубационного яйца финального гибрида цыплят-бройлеров и один из передовых племенных репродукторов России.

Уже реконструированы 29 птичников, установлено новое современное технологическое оборудование, заменены инженерные сети и коммуникации, а также проведена газификация производственных объектов.

«Количество племенного поголовья в репродукторе второго порядка превысит 300 тыс. голов, что обеспечит производство 42 млн инкубационных яиц в год. Проект вносит большой вклад в снижение импортозависимости и повышение уровня биологической и продовольственной безопасности Московской области», – добавил Зампред.

Уже модернизированные мощности показывают результаты, которые соответствуют лучшим мировым практикам. В частности, достигнут показатель в 150 суточных цыплят бройлеров на начальную несушку.

Проект на начальной стадии реализации уже обеспечил для жителей Богородского и Орехово-Зуевского городских округов Московской области более 100 дополнительных новых рабочих мест.

В рамках программы по компенсации части прямых понесенных затрат на инвестиционные цены предприятием получены субсидии из регионального и федерального бюджетов.

Источник: mcs.gov.ru