

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 3. С. 57-69.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 3. P. 57-69.

Обзорная статья
УДК 636.5
doi:10.33284/2658-3135-107-3-57

Использование генов домашнего хозяйства в качестве эталонов при оценке уровня экспрессии у кур

Ольга Сергеевна Романенкова¹

¹Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Дубровицы, Россия

¹eridpa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2682-6164>

Аннотация. Анализ экспрессии генов с помощью метода RT-qPCR даёт представление о сложных биологических регуляторных процессах и является важным подходом, применяющимся в различных исследованиях в области молекулярной биологии. Надёжность и точность результатов RT-qPCR зависит от референсных генов, используемых для нормализации уровня экспрессии целевого гена. В качестве референса наиболее часто используются так называемые гены домашнего хозяйства «домашнего хозяйства» (HKG – house keeping genes). Гены домашнего хозяйства необходимы для поддержания базальной клеточной функции. Ожидается, что они будут стабильно экспрессироваться во всех тканях и органах организма в различных условиях, независимо от стадии развития, пола или внешних стрессовых факторов. Цель данной работы – представить сведения обзорного характера касательно генов, используемых в молекулярной биологии в качестве референсных при оценке уровня экспрессии в различных тканях и органах кур. Были рассмотрены работы авторов и исследовательских коллективов из России и различных стран зарубежья касательно девяти наиболее изученных HKG. Несмотря на большое количество проведённых исследований, не существует универсального гена, применимого для всех экспериментов. Для каждого конкретного случая необходим подбор подходящего эталона.

Ключевые слова: куры, гены домашнего хозяйства, qPCR, экспрессия, *GAPDH*, *HMBS*, *ACTB*, *18SpPHK*, *TBP*, *YWHAZ*, *TFRC*, *HPRT1*, *SDHA*

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2024-2026 гг. ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста ФИЦ (№ FGGN-2024-0015).

Для цитирования: Романенкова О.С. Использование генов домашнего хозяйства в качестве эталонов при оценке уровня экспрессии у кур (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 3. С. 57-69. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-57>

Review article

Using housekeeping genes as references in assessing expression levels in chickens

Olga S Romanenkova¹

¹Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, Dubrovitsy, Russia

¹eridpa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2682-6164>

Abstract. Gene expression analysis through RT-qPCR provides insight into complex biological regulatory processes and is an important approach used in various molecular biology studies. The reliability and accuracy of RT-qPCR results depends on the reference genes used to normalize the expression

level of the target gene. The so-called house keeping genes (HKG) are most often used as a reference. Housekeeping genes are essential for maintaining basal cellular function. They are expected to be stably expressed in all tissues and organs of the body under various conditions, regardless of developmental stage, sex or external stress factors. The purpose of this work is to provide overview information regarding genes used in molecular biology as reference genes when assessing the level of expression in various tissues and organs of chickens. The works of authors and research teams from Russia and various foreign countries regarding the nine most studied HKGs were reviewed. Despite the large number of studies conducted, there is no universal gene applicable to all experiments. For each specific case, it is necessary to select a suitable standard.

Keywords: chickens, housekeeping genes, qPCR, expression, *GAPDH*, *HMBS*, *ACTB*, *18SrRNA*, *TBP*, *YWHAZ*, *TFRC*, *HPRT1*, *SDHA*

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2024-2026 L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (No. FGGN-2024-0015).

For citation: Romanenkova OS. Using housekeeping genes as references in assessing expression levels in chickens (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(3):57-69. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-57>

Введение.

Исследование экспрессии генов представляет собой один из важнейших методов характеристики биологических процессов в животноводстве и птицеводстве. Кормление, условия содержания, различные стрессы, породная и линейная принадлежность птицы, всё это оказывает влияние на экспрессию генов в различных тканях и органах животного. Количественная полимеразная цепная реакция в реальном времени (кПЦР, qPCR) представляет собой наиболее экономичный, эффективный и надежный метод измерения уровней экспрессии генов. Надежность окончательного результата количественного определения во многом зависит от всех элементов рабочего процесса, таких как качество входной матрицы (целостность РНК и отсутствие ингибиторов), обратной транскрипции и эффективности qPCR. Чтобы учесть влияние этих факторов и избежать ошибок в интерпретации конечного результата необходимой является нормализация экспрессии целевого гена с помощью внутреннего стандарта, также называемого эталонным геном (Zhao D et al., 2019). Идеальные эталонные гены стабильно экспрессируются во всех видах тканей и клеток, и на их экспрессию не влияют окружающая среда, условия эксперимента или другие факторы. Гены домашнего хозяйства (HKG – house keeping genes) по определению представляют собой гены, необходимые для поддержания базальной клеточной функции, независимо от их конкретной роли в ткани или организме (Joshi CJ et al., 2022). В ходе проведения анализа обычно возникают два типа проблем. Во-первых, экспрессия HKG может значительно варьироваться в разных тканях и в разных экспериментальных условиях. Во-вторых, большинство генов домашнего хозяйства имеют очень высокий уровень экспрессии, что часто приводит к значительной разнице между количеством их транскриптов относительно количества транскриптов целевого гена. Обе эти причины могут привести к неправильной интерпретации экспериментальных данных, особенно в тех случаях, когда для контроля используется только один ген (Renganathan VG et al., 2023). Поэтому выбор подходящих эталонных генов, которые устойчиво экспрессируются в конкретной ткани, клетке или биологическом процессе, очень важен для точной количественной оценки уровня экспрессии функциональных генов.

Цель работы.

Представить сведения обзорного характера касательно генов, используемых в молекулярной биологии в качестве референсных при оценке уровня экспрессии в различных тканях и органах кур.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. В качестве материалов для обзора были использованы различные литературные источники, в которых были представлены данные исследований по определению спектра генов «домашнего хозяйства» у кур, находящиеся в электронных базах данных PubMed и Elibrary за период с 2003 по 2023 годы. В поисковых запросах были использованы следующие основные ключевые слова и комбинации: куры, гены домашнего хозяйства, qPCR, экспрессия, normalization, qPCR, reference gene, chickens, housekeeping genes.

Результаты исследования и их обсуждение.

Наиболее часто используемыми генами «домашнего хозяйства» являются глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа (*GAPDH*), бета-актин (*ACTB*), гидроксиметилбилансинтаза (*HMBS*) и *18SpPHK*. По данным Charman с соавторами (2015), среди всех генов домашнего *ACTB* использовался в 38 % исследований, *GAPDH* использовался в 37 %, *18SpPHK* использовалась несколько реже – в 12 % исследований. *GAPDH* и *ACTB* наиболее часто включались в панель тестируемых генов (*GAPDH*=89 %, *ACTB*=86 %); *18SpPHK* была включена чуть менее чем в половину (48 %) исследований (Charman JR et al., 2015).

Ген *GAPDH* кодирует фермент глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназу, который катализирует реакцию гликолиза, а также непосредственно участвует в транскрипционной и посттранскрипционной регуляции генов, везикулярном транспорте, рецептор-опосредованной передаче сигналов в клетках, и поддержании целостности ДНК. Несмотря на множественность функций *GAPDH* в соматических клетках, этот белок кодируется единственным структурным геном и представлен в клетках только одним типом транскриптов (Косова А.А. и др., 2017). В исследованиях, выполняемых лабораторией молекулярной генетики Всероссийского научно-исследовательского института генетики и разведения сельскохозяйственных животных, *GAPDH* в сочетании с другими НКГ используется в качестве референсного гена изучения транскрипционной активности гена *LCORL* в печени и кишечнике различных пород кур (Баркова О.Ю., 2023). Herrera-Sánchez MP с коллегами (2023) проводили проверку четырёх генов (*GAPDH*, *ACTB*, *18SpPHK*, *HMBS*) по идентификации предпочтительных референсных генов у кур при различных системах содержания (в клетках и на свободном выгуле). Наиболее стабильный уровень экспрессии в селезенке имел *GAPDH* при клеточной системе содержания, и *HMBS* при содержании животных на свободном выгуле. Хотя *GAPDH* широко используется в качестве внутреннего контроля для нормализации данных в qPCR анализе, проводимом на различных тканях и органах кур (Chen XY et al., 2014; Regassa A and Kim WK, 2015; Kurniawan A et al., 2023), имеются данные что уровень экспрессии данного гена может меняться с возрастом и характером питания. Результаты исследования Mozdziak PE с коллегами (2003) на тканях большой грудной мышцы цыплят показывают, что отсутствие кормления приводило к более низкому уровню мРНК *GAPDH* ($P<0.05$) через 3 дня после вылупления по сравнению с цыплятами, получавшими корм. При этом уровень экспрессии *GAPDH* был значительно выше в обеих группах ($P<0.05$) на 7 й день после вылупления.

Ген *HMBS* кодирует фермент гидроксиметилбилансинтаза, который участвует в пути биосинтеза гема посредством катализа конденсации четырех молекул порфобилиногена в линейный гидроксиметилбилан (Sato H et al., 2021). Этот ген использовался для стандартизации данных qPCR у многих видов птицы, в разных тканях и возрастах (Yuan ZW et al., 2022; Dayan J et al., 2023; Wang Y et al., 2020). Hassanpour H с соавторами (2018) в исследовании тканей сердца и легких кур с легочной гипертензией выявили *HMBS* вместе с *YWHAZ* и *RPL13* как наиболее подходящая комбинация для нормализации количественных данных. В последующей работе, посвящённой влиянию теплового стресса на экспрессию девяти генов в репродуктивных тканях птиц *HMBS* в сочетании с *YWHAZ* и *HPRT1*, так же был идентифицирован в качестве эталонного гена для тканей репродуктивной системы (яичников и матки) (Hassanpour H et al., 2019). Помимо того, исследования de Sousa FCB с коллегами (2021) показали, что *HMBS* обладает хорошей стабильностью у перепе-

лов, а Paludo AMG с соавторами (2017) использовали *HMBS* в качестве эндогенного гена для изучения тканей костей бройлеров в возрасте 45 дней, пораженных некрозом головки бедренной кости.

Ген *ACTB* кодирует β -актин, который является важным белком цитоскелета. Данный белок широко представлен в цитоплазме и ядре, и участвует в поддержании морфологии клеток, их миграции и пролиферации, ремоделировании хроматина и модификации гистонов (Wang XT et al., 2021). Благодаря высокому уровню экспрессии в клетках ген β -актина часто используется в качестве контроля во многих исследованиях, в том числе и на курицах (Sławińska A et al., 2013; Stadnicka K et al., 2018; Баркова О.Ю., 2021). Xiang W с коллегами (2017) было подтверждено, что ген *ACTB* присутствует в курином геноме в виде единственной копии и является полезным эталонным геном для обнаружения следов курицы в кормах и продуктах питания. Так же ген β -актина (*ACTB*) и ген рибосомного белка L4 (*RPL4*) оказались лучшими референсными генами для измерения уровней репликации вируса H5N1 в фибробластах эмбрионов кур (Yue H et al., 2010). Результаты работы Lenart J с соавторами (2017) на однодневных цыплятах породы красный род-айленд впервые показывают, что *ACTB*, широко используемый в исследованиях на птицах, не подходит для анализа экспрессии генов в мозге кур.

Большая группа генов домашнего хозяйства, находящих широкое применение в исследованиях по экспрессии, это гены, кодирующих универсальные рибосомные белки. Они включают в себя 34 представителя, обнаруживаемых в рибосомах большинства исследованных организмов: 15 белков малой (S2–S5, S7–S15, S17 и S19) и 19 белков большой (L1–L6, L10–L15, L18, L22–L24, L29, L30 и L7ae) рибосомных субчастиц (Коробейникова А.В. и др., 2012). Mogilicherla K с коллегами (2022) выполняли исследование экспрессии с помощью кПЦР 30 эталонных генов в различных тканях органов курицы. Результат позволил сделать вывод, что наиболее предпочтительными генами являются *RPL23* для грудной мышцы, *RPL14* и *RPL13* для мышцы бедра, и *RPL5* и *18S β PHK* для желудка. *RPL13* также был определен как имеющий стабильную экспрессию в яичниках и матке кур-несушек, в селезенке, печени и слепой кишке. Рибосомальный белок *18S* (малая субъединица ядерной рибосомальной РНК) является одним из самых хорошо описанных генов «домашнего хозяйства», имеющим равномерный уровень экспрессии в различных тканях птицы, включая фолликулы яичников (Qin N et al., 2020) и магнум при содержании животных на свободном выгуле (Rodríguez-Hernández R et al., 2021). Результаты исследования Na W с коллегами (2021) показали, что *RPL13* устойчиво экспрессируется во время дифференцировки первичных преадипоцитов курицы, гены *TBP* и *HMBS* оказались наиболее устойчивыми в непосредственно изолированных преадипоцитах и зрелых адипоцитах, а также в течение процесса роста и развития брюшной жировой ткани бройлеров (Na W et al., 2021). Hul LM с соавторами (2020) по результатам анализа 9 генов-кандидатов рекомендовали *RPLP1* и *RPL5* как наиболее надёжные эндогенные контроли для исследования экспрессии в тканях хряща бедренной кости бройлеров, подверженных эпифизеолизу и другим аномалиями бедренной кости.

ТАТА-бокс-связывающий белок (*TBP*) играет очень важную роль в инициации транскрипции. Он участвует в сборке преинициативного комплекса (PIC) большинства эукариотических клеток, специфически взаимодействуя с ДНК последовательностями промоторов большинства генов класса II, а также некоторых генов класса III (Di Pietro C et al., 2007). Ген *TBP* является эталонным геном, который экспрессируется во многих тканях кур. Simon A с коллегами (2018) проанализировали экспрессию 10 потенциальных НКГ в гипоталамусе цыплят при трех различных условиях питания с использованием алгоритмов BestKeeper, GeNorm, NormFinder, 1Ct и алгоритма многомерного линейного моделирования со смешанными эффектами, и обнаружили, что *TBP* был одним из наиболее стабильных генов в гипоталамусе кур. Khan S с соавторами (2017) также идентифицировали *TBP* в паре с *YWHAZ* как два контрольных гена для нормализации данных по экспрессии в скорлуповой железе и селезенке кур, зараженных вирусом инфекционного бронхита.

YWHAZ, также известный как ген белка активации тирозин-3-монооксигеназы/триптофан-5-монооксигеназы дзета, который принадлежит к семейству белков 14-3-3, являются высококонсервативными и экспрессируются во всех эукариотических организмах. Связываясь со своими много-

численными белками-мишенями, они регулируют широкий спектр клеточных событий, таких как передача сигнала, апоптоз, прогрессирование клеточного цикла, метаболические процессы, процессы, рост клеток и миграция клеток (Wan RP et al., 2023). В исследовании Bagés с коллегами (2015), проведённом на четырёх видах тканей кур, комбинация *YWHAZ* и *TBP* была рекомендована для анализа тканей двуглавой мышцы бедра и печени, а комбинация *YWHAZ* и *RPL32* для анализа большой грудной мышцы. Согласно данным Woo SY с соавторами (2020), по экспрессии в лимфоцитах кур, инфицированных вирусом инфекционной бурсальной болезни *GAPDH* и *YWHAZ* являлись наиболее стабильными эталонными генами, а *RPL4* и *YWHAZ* были наиболее предпочтительными для клеток, инфицированных вирусом H5N1.

Рецептор трансферрина (TFRC) представляет собой трансмембранный гликопротеин, который опосредует эндоцитоз ионов железа из циркулирующего ферритина в клетки для поддержания внутриклеточного гомеостаза железа (Kim H et al., 2023). TFRC состоит из двух гомологичных субъединиц (90 кДа), соединённых дисульфидными связями, с небольшим цитоплазматическим доменом и большим внеклеточным доменом. Mitra T с коллегами (2016) с помощью методов GeNorm, NormFinder, BestKeeper, 1Ct и RefFinder идентифицировали *TBP* как референсный ген в тканях селезенки, печени, слепой кишки и миндалин слепой кишки кур-несушек. Наиболее равномерно экспрессируемым геном в исследованных тканях кур-несушек, независимо от инфицирования патогеном *Histomonas meleagridis* был ген *RPL13*. *TBP* и *TFRC* также оказались стабильными; однако для *TFRC* наблюдались несколько более высокие различия в уровнях экспрессии гена в тканях инфицированных животных. Также *TFRC* может использоваться в качестве эталонного гена наряду с *RPL13* и *TBP* для индеек (Mitra T et al., 2016). Однако результаты работы Nascimento CS с соавторами (2015), проведённой на 168 бройлерах кросса Кобб 500 установили, что *TFRC* и бета-2-микроглобулин (*B2M*) являются наименее подходящими для экспериментов на клетках большой грудной мышцы кур, тогда как гидроксиметилбилансинтаза (*HMBS*) и гипоксантинфосфорибозилтрансфераза 1 (*HPRT1*) являются наиболее предпочтительными эталонными генами.

Гипоксантинфосфорибозилтрансфераза 1 (*HPRT1*) кодирует фермент, который в основном участвует в клеточном цикле посредством регуляции продукции пурина и инозина по «пути спасения» (Yin J et al., 2023). Этот ген высоко экспрессируется в большинстве тканей и имеет только один функциональный транскрипт. Хотя *HPRT1* широко используется в качестве референсного гена домашнего хозяйства во многих исследованиях (Hoyle AS et al., 2020; Yang J et al., 2022), имеются сведения, что *HPRT1*, характеризуется повышенной экспрессией в быстро пролиферирующих клетках, таких как новообразования, из-за повышенной потребности в синтезе нуклеотидов во время клеточного цикла (Wu T et al., 2022). В исследованиях на курах, *HPRT1* вместе с *HMBS* были рекомендованы для анализа уровня экспрессии генов на разных стадиях формирования яичной скорлупы в скорлуповой железе в ответ на скармливание никарбазина курам-несушкам (Samiullah S et al., 2017).

Сукцинатдегидрогеназа (СДГ, SDH), также известная как митохондриальный комплекс II, играет важную роль как в цикле Кребса, так и в цепи переноса электронов, катализируя окисление сукцината до фумарата и восстановление убихинона до убихинола (White G et al., 2019). Комплекс SDH состоит из белков, кодируемых *SDHA*, *SDHB*, *SDHC*, *SDHD* и *SDHAF2* (Wagner AJ et al., 2013). Dunislawska A с коллегами (2020) проверили семь потенциальных эталонных генов с использованием RT-qPCR, чтобы определить наиболее подходящую пару в клеточной линии DT40 курицы, полученной из клеток бурсальной лимфомы, которые подверглись ретровирусной инфекции птиц RAV-1. Анализ эталонных генов проводился с использованием статистических инструментов, объединяющих четыре независимых метода — geNorm, Best Keeper, NormFinder, delta Ct и RefFinder. Полное исследование относительной экспрессии генов показало, что *SDHA* и *RPL4* представляют собой хороший внутренний контроль (Dunislawska A et al., 2020). Katarzyńska-Banasik D с коллегами (2017) исследовали восемь НКГ: *HPRT*, *HMBS*, *VIM*, *SDHA*, *TBP*, *RPL13*, *GAPDH* и *18S pPHK*. По данным алгоритма geNorm, лучшей комбинацией являлись *SDHA* и *TPP*.

Алгоритм NormFinder также выбрал *SDHA* как наиболее подходящий ген в сочетании с *RPL13* для исследований экспрессии генов в тканях куриных яичников (Katarzyńska-Banasik D et al., 2017).

Анализ экспрессии генов часто используется для анализа реакции на вирусную инфекцию, а *18SPHK*, *SHDA* и представляют собой популярные гены домашнего хозяйства, часто используемые для нормализации экспрессии генов. В исследовании Yang F с соавторами (2013) *RPL30* и *SDHA* были признаны подходящими для использования в качестве контрольных для ПЦР-РВ анализа в культуре фибробластов эмбрионов кур, инфицированных вирусом лейкоза птиц J (*ALV-J*), тогда как обычно используемые *ACTB* и *GAPDH* не подходили в качестве эталонных генов. Yin R с коллегами (2011) проводили отбор генов «домашнего хозяйства» для нормализации экспрессии в фибробластах эмбрионов кур, инфицированных вирусом болезни Ньюкасла. Результаты показали, что *ACTB*, *HPRT1* и *HMBS* являются ценными и стабильными НКГ, тогда как экспрессия *18SPHK*, *GAPDH* и *SHDA* в значительной степени варьируется в ходе течения инфекции и, таким образом, они не могут быть использованы для нормализации данных кПЦР. Эти исследования подчеркивают, что даже самые популярные НКГ, такие как *18SPHK* и *GAPDH*, могут привести к значительным ошибкам в интерпретации результатов эксперимента, если предварительно не провести комплексную полногеномную оценку экспрессии, оценить их пригодность, для каждого вида тканей курицы (Hasanpur K et al., 2022).

Заключение.

Количественная полимеразная цепная реакция по-прежнему остается лучшим методом для анализа экспрессии генов, однако, за исключением нескольких примеров, трудно прийти к однозначному выводу, какие гены можно считать эталонными для исследований на курах. Как следует из обзора, значительное количество факторов внешней и внутренней среды организма приводят к изменению экспрессии проверенных и хорошо описанных НКГ. Поэтому поиск новых референсных генов, а также изучение уже известных в различных тканях при различных условиях постоянно остаётся актуальной задачей молекулярной биологии.

Список источников

1. Баркова О.Ю. Анализ уровня экспрессии гена *LCORL* в печени у контрастных пород кур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1(69). С. 383-390. [Barkova OYu. Analysis of *LCORL* gene expression in liver in contrast chicken breeds. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2023;1(69):383-390. (In Russ.)]. doi: 10.32786/2071-9485-2023-01-42
2. Баркова О.Ю., Вахрамеев А.Б. Изучение транскрипционной активности последовательности *CR523443* в зависимости от генотипа кур породы русская белая // Птицеводство. 2021. № 9. С. 4-8. [Barkova OYu, Vakhrameev AB. The genotype and tissue related differences in the transcriptional activity of *CR523443* sequence in Russian white chicken breed. Pticevodstvo. 2021;9:4-8. (In Russ.)]. doi: 10.33845/0033-3239-2021-70-9-4-8
3. Коробейникова А.В., Гарбер М.Б., Гонгадзе Г.М. Рибосомные белки: структура, функция и эволюция // Биохимия. 2012. № 77(6). С. 686-700. [Korobeinikova AV, Garber MB, Gongadze GM. Ribosomal proteins: structure, function, and evolution. Biochemistry. 2012;77(6):686-700. (In Russ.)].
4. Косова А.А., Ходырева С.Н., Лаврик О.И. Роль глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназы (*GAPDH*) в репарации ДНК // Биохимия. 2017. № 82(6). С. 859-872. [Kosova AA, Khodyreva SN, Lavrik OI. Role of glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (*GAPDH*) in DNA repair. Biochemistry. 2017;82(6):859-872. (In Russ.)].

5. Wang X.T., Cheng K., Zhu L. Гипоксия ускоряет экспрессию β -актина через активацию транскрипции АСТВ ядерным фактором дыхания-1 // Молекулярная биология. 2021. Т. 55. № 3. 460-467. [Wang XT, Cheng K, Zhu L. Hypoxia accelerate β -actin expression through transcriptional activation of АСТВ by nuclear respiratory Factor-1. Molekulyarnaya Biologiya. 2021;55(3):460-467. (*In Russ.*)]. doi: 10.31857/S0026898421030186
6. Bagés S, Estany J, Tor M, Pena RN. Investigating reference genes for quantitative real-time PCR analysis across four chicken tissues. *Gene*. 2015;561(1):82-87. doi: 10.1016/j.gene.2015.02.016
7. Boo SY, Tan SW, Alitheen NB, et al. Identification of reference genes in chicken intraepithelial lymphocyte natural killer cells infected with very-virulent infectious bursal disease virus. *Scientific Reports*. 2020;10:8561. doi: 10.1038/s41598-020-65474-3
8. Chapman JR, Waldenström J. With reference to reference genes: a systematic review of endogenous controls in gene expression studies. *PLoS ONE*. 2015;10(11):e0141853. doi: 10.1371/journal.pone.0141853
9. Chen XY, Li R, Wang M, Geng ZY. Identification of differentially expressed genes in hypothalamus of chicken during cold stress. *Molecular Biology Reports*. 2014;41(4):2243-2248. doi: 10.1007/s11033-014-3075-z
10. Dayan J, Melkman-Zehavi T, Goldman N, Soglia F, Zampiga M, Petracci M, Sirri F, Braun U, Inhuber V, Halevy O, Uni Z. In-ovo feeding with creatine monohydrate: implications for chicken energy reserves and breast muscle development during the pre-post hatching period. *Frontiers in Physiology*. 2023;14:1296342. doi: 10.3389/fphys.2023.1296342
11. De Sousa FCB, do Nascimento CS, Macário MDS, et al. Selection of reference genes for quantitative real-time PCR normalization in European quail tissues. *Molecular Biology Reports*. 2021;48(1):67-76. doi: 10.1007/s11033-020-06134-7
12. Di Pietro C, Ragusa M, Duro L, et al. Genomics, evolution, and expression of TBPL2, a member of the TBP family. *DNA and Cell Biology*. 2007; 26(6):369-85. doi: 10.1089/dna.2006.0527
13. Dunislawaska A, Slawinska A, Siwek M. Validation of the reference genes for the gene expression studies in chicken DT40 cell line. *Genes (Basel)*. 2020; 11(4):372. doi: 10.3390/genes11040372
14. Hasanpur K, Hosseinzadeh S, Mirzaaghayy A, Alijani S. Investigation of chicken housekeeping genes using next-generation sequencing data. *Frontiers in Genetics*. 2022;13:827538. doi: 10.3389/fgene.2022.827538
15. Hassanpour H, Aghajani Z, Bahadoran S, et al. Identification of reliable reference genes for quantitative real-time PCR in ovary and uterus of laying hens under heat stress. *Stress*. 2019;22(3):387-394. doi: 10.1080/10253890.2019.1574294
16. Hassanpour H, Bahadoran S, Farhadfar, F et al. Identification of reliable reference genes for quantitative real-time PCR in lung and heart of pulmonary hypertensive chickens. *Poultry Science*. 2018;97(11):4048-4056. doi: 10.3382/ps/pey258
17. Herrera-Sánchez MP, Lozano-Villegas KJ, Rondón-Barragán IS, et al. Identification of reference genes for expression studies in the liver and spleen of laying hens housed in cage and cage-free systems. *Open Veterinary Journal*. 2023;13(3):270-277. doi: 10.5455/OVJ.2023.v13.i3.3
18. Hoyle AS, Menezes A C B, Nelson MA, Swanson K C, Vonnahme KA, Berg EP, Ward AK. Fetal expression of genes related to metabolic function is impacted by supplementation of ground beef and sucrose during gestation in a swine model. *Journal of Animal Science*. 2020;98(8):skaa232. doi: 10.1093/jas/skaa232
19. Hul LM, Ibelli AMG, Peixoto JdO, Souza MR, Savoldi IR, Marcelino DEP, et al. Reference genes for proximal femora lepiophysiolysis expression studies in broilers cartilage. *Reference genes*

for proximal femoralepiphyseal expression studies in broilers cartilage. *PLoS ONE*. 2020;15(8):e0238189. doi: 10.1371/journal.pone.0238189

20. Joshi CJ, Ke W, Drangowska-Way A, O'Rourke EJ, Lewis NE. What are housekeeping genes? *PLoS Computational Biology*. 2022;18(7):e1010295. doi: 10.1371/journal.pcbi.1010295

21. Katarzyńska-Banasik D, Grzesiak M, Sechman A. Selection of reference genes for quantitative real-time PCR analysis in chicken ovary following silver nanoparticle treatment. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2017;56:186-190. doi: 10.1016/j.etap.2017.09.011

22. Khan S, Roberts J, Wu S. Reference gene selection for gene expression study in shell gland and spleen of laying hens challenged with infectious bronchitis virus. *Scientific Reports*. 2017;7:14271. doi: 10.1038/s41598-017-14693-2

23. Kim H, Villareal LB, Liu Z, et al. Transferrin receptor-mediated iron uptake promotes colon tumorigenesis. *Advanced Science*. 2023;10(10):e2207693. doi: 10.1002/advs.202207693

24. Kurniawan A, Natsir MH, Suyadi S, Sjojfan O, Nuningtyas YF, Ardiantoro A, Furqon A, Lestari SP. The effect of feeding with different protein levels on internal organ weight and gene expression of MEF2A and ATF3 in crossbred local chicken using RT-PCR. *Journal of Genetic Engineering & Biotechnology*. 2023; 21(1):83. doi: 10.1186/s43141-023-00533-6

25. Lenart J, Kogut K, Salinska E. Lateralization of housekeeping genes in the brain of one-day old chicks. *Gene Expression Patterns*. 2017;25-26:85-91. doi: 10.1016/j.gep.2017.06.006

26. Mitra T, Bilic I, Hess M, Liebhart D. The 60S ribosomal protein L13 is the most preferable reference gene to investigate gene expression in selected organs from turkeys and chickens, in context of different infection models. *Veterinary Research*. 2016;47:105. doi: 10.1186/s13567-016-0388-z

27. Mogilicherla K, Athe RP, Chatterjee RN, Bhattacharya TK. Identification of suitable reference genes for normalization of quantitative real-time PCR-based gene expression in chicken (*Gallus gallus*). *Animal Genetics*. 2022;53(6):881-887. doi: 10.1111/age.13252

28. Mozdziak PE, Dibner JJ, McCoy DW. Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase expression varies with age and nutrition status. *Nutrition*. 2003; 19(5):438-440. doi: 10.1016/s0899-9007(02)01006-7

29. Na W, Wang Y, Gong P, et al. Screening of reference genes for RT-QPCR in chicken adipose tissue and adipocytes. *Frontiers in Physiology*. 2021;12:676864. doi: 10.3389/fphys.2021.676864

30. Nascimento CS, Barbosa LT, Brito C, et al. Identification of suitable reference genes for Real Time quantitative polymerase chain reaction assays on pectoralis major muscle in chicken (*Gallus gallus*). *PLoS ONE*. 2015; 10(5):e0127935. doi: 10.1371/journal.pone.0127935

31. Paludo E, Ibelli AMG, Peixoto JO, Tavernari FC, Lima-Rosa CAV, Pandolfi JRC, Ledur MC. The involvement of RUNX2 and SPARC genes in the bacterial chondronecrosis with osteomyelitis in broilers. *Animal*. 2017;11(6):1063-1070. doi: 10.1017/S1751731116002433

32. Qin N, Shan X, Sun X, et al. Evaluation and validation of the six housekeeping genes for normalizing mRNA expression in the ovarian follicles and several tissues in chicken. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2020;22(03). doi: 10.1590/1806-9061-2019-1256

33. Regassa A, Kim WK. Transcriptome analysis of hen preadipocytes treated with an adipogenic cocktail (DMIOA) with or without 20(S)-hydroxylcholesterol. *BMC Genomics*. 2015;16(1):91. doi: 10.1186/s12864-015-1231-z

34. Renganathan VG, Renuka R, Vanniarajan C, Raveendran M, Elangovan A. Selection and validation of reliable reference genes for quantitative real-time PCR in Barnyard millet (*Echinochloa* spp.) under varied abiotic stress conditions. *Scientific Reports*. 2023;13(1):15573. doi: 10.1038/s41598-023-40526-6

35. Rodríguez-Hernández R, Oviedo-Rondón EO, Rondón- Barragán IS. Identification of reliable reference genes for expression studies in the magnum of laying hens housed in cage and cage- free systems. *Veterinary Medicine and Science*. 2021;7(5):1890-1898. doi: 10.1002/vms3.507
36. Samiullah S, Roberts J, Wu SB. Reference gene selection for the shell gland of laying hens in response to time-points of eggshell formation and nicarbazin. *PLoS One*. 2017;12(7):e0180432. doi: 10.1371/journal.pone.0180432
37. Sato H, Sugishima M, Tsukaguchi M, et al. Crystal structures of hydroxymethylbilane synthase complexed with a substrate analog: a single substrate-binding site for four consecutive condensation steps. *The Biochemical Journal*. 2021; 478(5):1023-1042. doi: 10.1042/BCJ20200996
38. Simon Á, Jávora A, Bai P, Oláh J, Czeglédi L. Reference gene selection for reverse transcription quantitative polymerase chain reaction in chicken hypothalamus under different feeding status. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2018;102(1):286-296. doi: 10.1111/jpn.12690
39. Sławińska A, D'Andrea M, Pilla F, Bednarczyk M, Siwek M. Expression profiles of Toll-like receptors 1, 2 and 5 in selected organs of commercial and indigenous chickens. *Journal of Applied Genetics*. 2013;54(4):489-92. doi: 10.1007/s13353-013-0161-1
40. Stadnicka K, Sławińska A, Dunisławska A, et al. Molecular signatures of epithelial oviduct cells of a laying hen (*Gallus gallus domesticus*) and quail (*Coturnix Japonica*). *BMC Developmental Biology*. 2018;18(1):9. doi: 10.1186/s12861-018-0168-2
41. Wagner AJ, Remillard SP, Zhang YX, Doyle LA, George S, Hornick JL. Loss of expression of SDHA predicts SDHA mutations in gastrointestinal stromal tumors. *Mod Pathol*. 2013;26(2):289-94. doi: 10.1038/modpathol.2012.153
42. Wan RP, Liu ZG, Huang XF, Kwan P, Li YP, Qu XC, Ye XG, Chen FY, Zhang DW, He MF, Wang J, Mao YL, Qiao JD. YWHAZ variation causes intellectual disability and global developmental delay with brain malformation. *Human Molecular Genetics*. 2023;32(3):462-472. doi: 10.1093/hmg/ddac210
43. Wang Y, Zhang J, Patrick K, Li M, Gong J, Xu B, Shen Q, Yang Y, Wei L, Zhang Y, Peng D, Ye J, Poudel A, Wang C. Hydroxymethylbilane synthase (HMBS) gene-based endogenous internal control for avian species. *AMB Express*. 2020; 10(1):181. doi: 10.1186/s13568-020-01112-5
44. White G, Tufton N, Akker SA. First-positive surveillance screening in an asymptomatic SDHA germline mutation carrier. *Endocrinology, Diabetes & Metabolism Case Reports*. 2019;2019(1):19-0005. doi: 10.1530/EDM-19-0005
45. Wu T, Jiao Z, Li Y, Su X, Yao F, Peng J, Chen W, Yang A. HPRT1 promotes chemoresistance in oral squamous cell carcinoma via activating MMP1/PI3K/akt signaling pathway. *Cancers (Basel)*. 2022;14(4):855. doi: 10.3390/cancers14040855
46. Xiang W, Shang Y, Wang Q, et al. Identification of a chicken (*Gallus Gallus*) endogenous reference gene (ACTB) and its application in meat adulteration. *Food Chemistry*. 2017;1(234):472-478. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.038
47. Yang F, Lei X, Rodríguez-Palacios A, Tang C, Yue H. Selection of reference genes for quantitative real-time PCR analysis in chicken embryo fibroblasts infected with avian leukosis virus subgroup J. *BMC Research Notes*. 2013;6:402. doi: 10.1186/1756-0500-6-402
48. Yang J, Mao Zh, Wang X, Zhuang J, Gong S, Gao Zh, Xu G, Yang N, Sun C. Identification of crucial genes and metabolites regulating the eggshell brownness in chicken. *BMC Genomics*. 2022;23(1):761. doi: 10.1186/s12864-022-08987-7
49. Yin J, Wang X, Ge X, Ding F, et al. Hypoxanthine phosphoribosyl transferase 1 metabolizes temozolomide to activate AMPK for driving chemoresistance of glioblastomas. *Nature Communications*. 2023;14(1):5913. doi: 10.1038/s41467-023-41663-2

50. Yin R, Liu X, Liu C, Ding Z, Zhang X, Tian F, Liu W, Yu J, Li L, Hrabé de Angelis M, Stoeger T. Systematic selection of housekeeping genes for gene expression normalization in chicken embryo fibroblasts infected with Newcastle disease virus. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2011;413(4):537-40. doi: 10.1016/j.bbrc.2011.08.131
51. Yuan ZW, Zhang XH, Pang YZ, Qi YX, Wang QK, Ren SW, Hu YQ, Zhao YW, Wang T, Huo LK. Screening of stably expressed internal reference genes for quantitative real-time PCR analysis in quail. *Biology Bulletin*. 2022;49(5):418-427. doi: 10.1134/S1062359022050223
52. Yue H, Lei XW, Yang FL, Li MY, Tang C. Reference gene selection for normalization of PCR analysis in chicken embryo fibroblast infected with H5N1 AIV. *Virol Sin*. 2010;25(6):425-431. doi: 10.1007/s12250-010-3114-4
53. Zhao D, Wang X, Chen J, Huang Z, Huo H, Jiang C, Huang H, Zhang C, Wei S. Selection of reference genes for qPCR normalization in buffalobur (*Solanum rostratum* Dunal). *Scientific Reports*. 2019;9(1):6948. doi: 10.1038/s41598-019-43438-6

References

1. Barkova OYu. Analysis of LCORL gene expression in liver in contrast chicken breeds. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2023;1(69):383-390. doi: 10.32786/2071-9485-2023-01-42
2. Barkova OYu, Vakhrameev AB. The genotype and tissue related differences in the transcriptional activity of CR523443 sequence in Russian white chicken breed. *Poultry Breeding*. 2021;9:4-8. doi: 10.33845/0033-3239-2021-70-9-4-8
3. Korobeinikova AV, Garber MB, Gongadze GM. Ribosomal proteins: structure, function, and evolution. *Biochemistry*. 2012;77(6):686-700.
4. Kosova AA, Khodyreva SN, Lavrik OI. Role of glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH) in DNA repair. *Biochemistry*. 2017;82(6):859-872.
5. Wang XT, Cheng K, Zhu L. Hypoxia accelerate β -actin expression through transcriptional activation of ACTB by nuclear respiratory Factor-1. *Molecular Biology*. 2021;55(3):460-467. doi: 10.31857/S0026898421030186
6. Bagés S, Estany J, Tor M, Pena RN. Investigating reference genes for quantitative real-time PCR analysis across four chicken tissues. *Gene*. 2015;561(1):82-87. doi: 10.1016/j.gene.2015.02.016
7. Boo SY, Tan SW, Alitheen NB, et al. Identification of reference genes in chicken intraepithelial lymphocyte natural killer cells infected with very-virulent infectious bursal disease virus. *Scientific Reports*. 2020;10:8561. doi: 10.1038/s41598-020-65474-3
8. Chapman JR, Waldenström J. With reference to reference genes: a systematic review of endogenous controls in gene expression studies. *PLoS ONE*. 2015;10(11):e0141853. doi: 10.1371/journal.pone.0141853
9. Chen XY, Li R, Wang M, Geng ZY. Identification of differentially expressed genes in hypothalamus of chicken during cold stress. *Molecular Biology Reports*. 2014;41(4):2243-2248. doi: 10.1007/s11033-014-3075-z
10. Dayan J, Melkman-Zehavi T, Goldman N, Soglia F, Zampiga M, Petracci M, Sirri F, Braun U, Inhuber V, Halevy O, Uni Z. In-ovo feeding with creatine monohydrate: implications for chicken energy reserves and breast muscle development during the pre-post hatching period. *Frontiers in Physiology*. 2023;14:1296342. doi: 10.3389/fphys.2023.1296342

11. De Sousa FCB, do Nascimento CS, Macário MDS, et al. Selection of reference genes for quantitative real-time PCR normalization in European quail tissues. *Molecular Biology Reports*. 2021;48(1):67-76. doi: 10.1007/s11033-020-06134-7
12. Di Pietro C, Ragusa M, Duro L, et al. Genomics, evolution, and expression of TBPL2, a member of the TBP family. *DNA and Cell Biology*. 2007; 26(6):369-85. doi: 10.1089/dna.2006.0527
13. Dunislawska A, Slawinska A, Siwek M. Validation of the reference genes for the gene expression studies in chicken DT40 cell line. *Genes (Basel)*. 2020; 11(4):372. doi: 10.3390/genes11040372
14. Hasanpur K, Hosseinzadeh S, Mirzaaghayy A, Alijani S. Investigation of chicken housekeeping genes using next-generation sequencing data. *Frontiers in Genetics*. 2022;13:827538. doi: 10.3389/fgene.2022.827538
15. Hassanpour H, Aghajani Z, Bahadoran S, et al. Identification of reliable reference genes for quantitative real-time PCR in ovary and uterus of laying hens under heat stress. *Stress*. 2019;22(3):387-394. doi: 10.1080/10253890.2019.1574294
16. Hassanpour H, Bahadoran S, Farhadfar, F et al. Identification of reliable reference genes for quantitative real-time PCR in lung and heart of pulmonary hypertensive chickens. *Poultry Science*. 2018;97(11):4048-4056. doi: 10.3382/ps/pey258
17. Herrera-Sánchez MP, Lozano-Villegas KJ, Rondón-Barragán IS, et al. Identification of reference genes for expression studies in the liver and spleen of laying hens housed in cage and cage-free systems. *Open Veterinary Journal*. 2023;13(3):270-277. doi: 10.5455/OVJ.2023.v13.i3.3
18. Hoyle AS, Menezes A C B, Nelson MA, Swanson K C, Vonnahme KA, Berg EP, Ward AK. Fetal expression of genes related to metabolic function is impacted by supplementation of ground beef and sucrose during gestation in a swine model. *Journal of Animal Science*. 2020;98(8):skaa232. doi: 10.1093/jas/skaa232
19. Hul LM, Ibelli AMG, Peixoto JdO, Souza MR, Savoldi IR, Marcelino DEP, et al. Reference genes for proximal femora lepiophysiolysis expression studies in broilers cartilage. Reference genes for proximal femoralepiophysiolysis expression studies in broilers cartilage. *PLoS ONE*. 2020;15(8):e0238189. doi: 10.1371/journal.pone.0238189
20. Joshi CJ, Ke W, Drangowska-Way A, O'Rourke EJ, Lewis NE. What are housekeeping genes? *PLoS Computational Biology*. 2022;18(7):e1010295. doi: 10.1371/journal.pcbi.1010295
21. Katarzyńska-Banasik D, Grzesiak M, Sechman A. Selection of reference genes for quantitative real-time PCR analysis in chicken ovary following silver nanoparticle treatment. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2017;56:186-190. doi: 10.1016/j.etap.2017.09.011
22. Khan S, Roberts J, Wu S. Reference gene selection for gene expression study in shell gland and spleen of laying hens challenged with infectious bronchitis virus. *Scientific Reports*. 2017;7:14271. doi: 10.1038/s41598-017-14693-2
23. Kim H, Villareal LB, Liu Z, et al. Transferrin receptor-mediated iron uptake promotes colon tumorigenesis. *Advanced Science*. 2023;10(10):e2207693. doi: 10.1002/advs.202207693
24. Kurniawan A, Natsir MH, Suyadi S, Sjojfan O, Nuningtyas YF, Ardiantoro A, Furqon A, Lestari SP. The effect of feeding with different protein levels on internal organ weight and gene expression of MEF2A and ATF3 in crossbred local chicken using RT-PCR. *Journal of Genetic Engineering & Biotechnology*. 2023; 21(1):83. doi: 10.1186/s43141-023-00533-6
25. Lenart J, Kogut K, Salinska E. Lateralization of housekeeping genes in the brain of one-day old chicks. *Gene Expression Patterns*. 2017;25-26:85-91. doi: 10.1016/j.gep.2017.06.006
26. Mitra T, Bilic I, Hess M, Liebhart D. The 60S ribosomal protein L13 is the most preferable reference gene to investigate gene expression in selected organs from turkeys and chickens, in context of different infection models. *Veterinary Research*. 2016;47:105. doi: 10.1186/s13567-016-0388-z

27. Mogilicherla K, Athe RP, Chatterjee RN, Bhattacharya TK. Identification of suitable reference genes for normalization of quantitative real-time PCR-based gene expression in chicken (*Gallus gallus*). *Animal Genetics*. 2022;53(6):881-887. doi: 10.1111/age.13252
28. Mozdziak PE, Dibner JJ, McCoy DW. Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase expression varies with age and nutrition status. *Nutrition*. 2003; 19(5):438-440. doi: 10.1016/s0899-9007(02)01006-7
29. Na W, Wang Y, Gong P, et al. Screening of reference genes for RT-QPCR in chicken adipose tissue and adipocytes. *Frontiers in Physiology*. 2021;12:676864. doi: 10.3389/fphys.2021.676864
30. Nascimento CS, Barbosa LT, Brito C, et al. Identification of suitable reference genes for Real Time quantitative polymerase chain reaction assays on pectoralis major muscle in chicken (*Gallus gallus*). *PLoS ONE*. 2015; 10(5):e0127935. doi: 10.1371/journal.pone.0127935
31. Paludo E, Ibelli AMG, Peixoto JO, Tavernari FC, Lima-Rosa CAV, Pandolfi JRC, Ledur MC. The involvement of RUNX2 and SPARC genes in the bacterial chondronecrosis with osteomyelitis in broilers. *Animal*. 2017;11(6):1063-1070. doi: 10.1017/S1751731116002433
32. Qin N, Shan X, Sun X, et al. Evaluation and validation of the six housekeeping genes for normalizing mRNA expression in the ovarian follicles and several tissues in chicken. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2020;22(03). doi: 10.1590/1806-9061-2019-1256
33. Regassa A, Kim WK. Transcriptome analysis of hen preadipocytes treated with an adipogenic cocktail (DMIOA) with or without 20(S)-hydroxylcholesterol. *BMC Genomics*. 2015;16(1):91. doi: 10.1186/s12864-015-1231-z
34. Renganathan VG, Renuka R, Vanniarajan C, Raveendran M, Elangovan A. Selection and validation of reliable reference genes for quantitative real-time PCR in Barnyard millet (*Echinochloa* spp.) under varied abiotic stress conditions. *Scientific Reports*. 2023;13(1):15573. doi: 10.1038/s41598-023-40526-6
35. Rodríguez-Hernández R, Oviedo-Rondón EO, Rondón- Barragán IS. Identification of reliable reference genes for expression studies in the magnum of laying hens housed in cage and cage-free systems. *Veterinary Medicine and Science*. 2021;7(5):1890-1898. doi: 10.1002/vms3.507
36. Samiullah S, Roberts J, Wu SB. Reference gene selection for the shell gland of laying hens in response to time-points of eggshell formation and nicarbazin. *PLoS One*. 2017;12(7):e0180432. doi: 10.1371/journal.pone.0180432
37. Sato H, Sugishima M, Tsukaguchi M, et al. Crystal structures of hydroxymethylbilane synthase complexed with a substrate analog: a single substrate-binding site for four consecutive condensation steps. *The Biochemical Journal*. 2021; 478(5):1023-1042. doi: 10.1042/BCJ20200996
38. Simon Á, Jávora A, Bai P, Oláh J, Czeglédi L. Reference gene selection for reverse transcription quantitative polymerase chain reaction in chicken hypothalamus under different feeding status. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2018;102(1):286-296. doi: 10.1111/jpn.12690
39. Sławińska A, D'Andrea M, Pilla F, Bednarczyk M, Siwek M. Expression profiles of Toll-like receptors 1, 2 and 5 in selected organs of commercial and indigenous chickens. *Journal of Applied Genetics*. 2013;54(4):489-92. doi: 10.1007/s13353-013-0161-1
40. Stadnicka K, Sławińska A, Dunisławska A, et al. Molecular signatures of epithelial oviduct cells of a laying hen (*Gallus gallus domesticus*) and quail (*Coturnix Japonica*). *BMC Developmental Biology*. 2018;18(1):9. doi: 10.1186/s12861-018-0168-2
41. Wagner AJ, Remillard SP, Zhang YX, Doyle LA, George S, Hornick JL. Loss of expression of SDHA predicts SDHA mutations in gastrointestinal stromal tumors. *Mod Pathol*. 2013;26(2):289-94. doi: 10.1038/modpathol.2012.153
42. Wan RP, Liu ZG, Huang XF, Kwan P, Li YP, Qu XC, Ye XG, Chen FY, Zhang DW, He MF, Wang J, Mao YL, Qiao JD. YWHAZ variation causes intellectual disability and global developmental delay with brain malformation. *Human Molecular Genetics*. 2023;32(3):462-472. doi: 10.1093/hmg/ddac210
43. Wang Y, Zhang J, Patrick K, Li M, Gong J, Xu B, Shen Q, Yang Y, Wei L, Zhang Y, Peng D, Ye J, Poudel A, Wang C. Hydroxymethylbilane synthase (HMBS) gene-based endogenous internal control for avian species. *AMB Express*. 2020; 10(1):181. doi: 10.1186/s13568-020-01112-5

44. White G, Tufton N, Akker SA. First-positive surveillance screening in an asymptomatic SDHA germline mutation carrier. *Endocrinology, Diabetes & Metabolism Case Reports*. 2019;2019(1):19-0005. doi: 10.1530/EDM-19-0005
45. Wu T, Jiao Z, Li Y, Su X, Yao F, Peng J, Chen W, Yang A. HPRT1 promotes chemoresistance in oral squamous cell carcinoma via activating MMP1/PI3K/akt signaling pathway. *Cancers (Basel)*. 2022;14(4):855. doi: 10.3390/cancers14040855
46. Xiang W, Shang Y, Wang Q, et al. Identification of a chicken (*Gallus Gallus*) endogenous reference gene (ACTB) and its application in meat adulteration. *Food Chemistry*. 2017;1(234):472-478. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.038
47. Yang F, Lei X, Rodriguez-Palacios A, Tang C, Yue H. Selection of reference genes for quantitative real-time PCR analysis in chicken embryo fibroblasts infected with avian leukosis virus subgroup J. *BMC Research Notes*. 2013;6:402. doi: 10.1186/1756-0500-6-402
48. Yang J, Mao Zh, Wang X, Zhuang J, Gong S, Gao Zh, Xu G, Yang N, Sun C. Identification of crucial genes and metabolites regulating the eggshell brownness in chicken. *BMC Genomics*. 2022;23(1):761. doi: 10.1186/s12864-022-08987-7
49. Yin J, Wang X, Ge X, Ding F, et al. Hypoxanthine phosphoribosyl transferase 1 metabolizes temozolomide to activate AMPK for driving chemoresistance of glioblastomas. *Nature Communications*. 2023;14(1):5913. doi: 10.1038/s41467-023-41663-2
50. Yin R, Liu X, Liu C, Ding Z, Zhang X, Tian F, Liu W, Yu J, Li L, Hrabé de Angelis M, Stoeger T. Systematic selection of housekeeping genes for gene expression normalization in chicken embryo fibroblasts infected with Newcastle disease virus. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2011;413(4):537-40. doi: 10.1016/j.bbrc.2011.08.131
51. Yuan ZW, Zhang XH, Pang YZ, Qi YX, Wang QK, Ren SW, Hu YQ, Zhao YW, Wang T, Huo LK. Screening of stably expressed internal reference genes for quantitative real-time PCR analysis in quail. *Biology Bulletin*. 2022;49(5):418-427. doi: 10.1134/S1062359022050223
52. Yue H, Lei XW, Yang FL, Li MY, Tang C. Reference gene selection for normalization of PCR analysis in chicken embryo fibroblast infected with H5N1 AIV. *Virol Sin*. 2010;25(6):425-431. doi: 10.1007/s12250-010-3114-4
53. Zhao D, Wang X, Chen J, Huang Z, Huo H, Jiang C, Huang H, Zhang C, Wei S. Selection of reference genes for qPCR normalization in buffalobur (*Solanum rostratum* Dunal). *Scientific Reports*. 2019;9(1):6948. doi: 10.1038/s41598-019-43438-6

Информация об авторах:

Ольга Сергеевна Романенкова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Московская область, городской округ Подольск, п. Дубровицы, 60, тел.: +7 (4967) 651102.

Information about the authors:

Olga S Romanenkova, Cand. Sci. (Biology), researcher, Laboratory of Molecular Genetics of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member LK Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk district, Moscow region, 142132, cell: +7(4967)651102.

Статья поступила в редакцию 10.07.2024; одобрена после рецензирования 17.07.2024; принята к публикации 09.09.2024.

The article was submitted 10.07.2024; approved after reviewing 17.07.2024; accepted for publication 09.09.2024.