

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-206-212>

Поступила 31.01.2024

Поступила после рецензирования 25.04.2024

Принята в печать 03.05.2024

© Утьянов Д. А., Куликовский А. В., Хвостов Д. В., Курзова А. А., 2024



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ОБРАЗОВАНИЕ MeIQx И PhIP В МОДЕЛЬНЫХ МАТРИЦАХ ИЗ АМИНОКИСЛОТ, УГЛЕВОДОВ И КРЕАТИНА

Утьянов Д. А.*, Куликовский А. В., Хвостов Д. В., Курзова А. А.

Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

гетероциклические ароматические амины, ГАА, углеводы, аминокислоты, реакция Майяра

Понимание реакции образования ГАА в пищевой продукции — ключ к поиску способов снижения количества их образования. Все больше экспериментальных работ в последнее время посвящается вопросу образования ГАА в модельных матрицах, чтобы установить основные прекурсоры, промежуточные продукты, катализаторы и ингибиторы в реакции их образования. Считается, что ГАА образуются в пищевой продукции в ходе реакции Майяра. К основными прекурсорами в реакции их образования относят аминокислоты, углеводы и креатин(ин). В связи с этим в настоящей работе были проведены исследования экспериментальных матриц, состоящих из аминокислот (8 незаменимых, глутаминовая кислота и аспарагиновая кислота), углеводов (глюкоза, фруктоза, сахароза, лактоза) и креатина. Проведенные исследования показали, что углеводы в реакции образования ГАА могут вести себя по-разному — и как катализаторы, и как ингибиторы. Из всех исследованных матриц в образцах с фенилаланином отмечено наибольшее количество PhIP, его содержание варьировалось в диапазоне от 7159,79 до 27837,79 нг/г, на основании чего справедливо предположить, что из всех аминокислот именно фенилаланин является основным прекурсором в реакции образования PhIP. Большие концентрации PhIP были также отмечены и в образцах с триптофаном, содержащимся в диапазоне от 1791,19 до 4891,36 нг/г. Полученные результаты показывают, что использование некоторых источников углеводов при термической обработке мяса в теории может приводить к уменьшению количества образующихся ГАА.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследования проводились в рамках государственного задания ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН FGOS-2024-0002.

Received 31.01.2024

Accepted in revised 25.04.2024

Accepted for publication 03.05.2024

© Utyanov D. A., Kulikovskii A. V., Khvostov D. A., Kurzova A. A., 2024

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

FORMATION OF MeIQx AND PhIP IN MODEL MATRICES FROM AMINO ACIDS, CARBOHYDRATES, AND CREATINE

Dmitry A. Utyanov*, Andrey V. Kulikovskii, Daniil V. Khvostov, Anastasiya A. Kurzova

V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

KEY WORDS:

heterocyclic aromatic amines, HAA, carbohydrates, amino acids, Maillard reaction

ABSTRACT

The understanding of the reaction of HAA formation in foods is a key for finding methods for reduction of their quantity. Currently, more and more experimental works are dedicated to the question of HAA formation in model matrices to establish the main precursors, intermediate products, catalysts and inhibitors in the reaction of their formation. It is believed that HAAs are formed in foods in the course of the Maillard reaction. Amino acids, carbohydrates and creatin(in)e are assigned to the main precursors in the reaction of their formation. In this work, therefore, investigations of experimental matrices were carried out. The experimental matrices consisted of amino acids (eight essential, glutamic acid and aspartic acid), carbohydrates (glucose, fructose, saccharose, lactose) and creatine. The performed investigations have shown that carbohydrates can behave differently (both as catalysts and inhibitors) in the reaction of HAA formation. Among all studied matrices, the highest quantity of PhIP was found in the samples with phenylalanine; its content varied in a range from 7,159.79 to 27,837.79 ng/g. Based on this result, it is reasonable to suggest that among all amino acids, phenylalanine is the main precursor in the reaction of PhIP formation. High concentrations of PhIP were also observed in the samples with tryptophan in a range from 1,791.19 to 4,891.36 ng/g. The results obtained show that the use of certain sources of carbohydrates upon thermal processing of meat can theoretically lead to a reduction in the quantity of formed HAA.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGOS-2024-0002 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Термическая обработка продукции необходима для улучшения питательных качеств продукта, и для повышения его перевариваемости. Термическая обработка увеличивает биодоступность нутриентов продукта и срок его хранения, улучшает вкусоароматические свойства, а также способствует уничтожению большей части микроорганизмов, возможно, присутствующих в продукте. Одновременно с этим термическая обработка, особенно высокотемпературная, приводит к образованию в продукте различного рода химических соединений, которые являются результатом химических реакций компонентов, входящих в состав продукта. К таким соединениям относятся ГАА. В настоящее время ГАА класси-

фицируются как 2a и 2b соединения, т. е. вероятные и возможные канцерогены [1,2].

Исследования вопроса образования ГАА начались с работ Т. Сугимур в 70-х годах прошлого столетия [3]. С тех пор теме содержания ГАА в пищевой продукции было посвящено немало работ. Из них преобладающее большинство посвящено вопросам снижения ГАА в мясных продуктах путем добавления немясных ингредиентов или изменения режимов термической обработки, таких как продолжительность и температура обработки. Но немало работ было посвящено и самому химизму образования ГАА [4].

Так, например, в работе [5] изучали реакцию образования PhIP, его прекурсоры и промежуточные продукты реакции его образования.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Утьянов, Д. А., Куликовский, А. В., Хвостов Д. В., Курзова, А. А. (2024). Образование MeIQx и PhIP в модельных матрицах из аминокислот, углеводов и креатина. *Пищевые системы*, 7(2), 206–212. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-206-212>

FOR CITATION: Utyanov, D. A., Kulikovskii, A. V., Khvostov, D. V., Kurzova, A. A. (2024). Formation of MeIQx and PhIP in model matrices from amino acids, carbohydrates, and creatine. *Food Systems*, 7(2), 206–212. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-206-212>

В ходе выполнения работы было установлено, что фенилаланин — основной прекурсор в реакции образования PhIP. В результате такие продукты термической деградации фенилаланина, как фенилэтилен, фенилацетальдегид, 2-фенилэтиламин, 2-фенилэтанол и фенилуксусная кислота были определены как промежуточные соединения в реакции образования PhIP из фенилаланина. Также в этой работе было установлено, что PhIP образуется только из продуктов термической деградации фенилаланина, т. е. эксперимент с модельными матрицами, в которых креатинин и фенилаланин оставили при комнатной температуре на 2 недели, показал, что PhIP в таком случае не образуется.

Реакции образования ГАА подробно описаны в работе [6], где приведен обзор работ конца 1990-х — начала 2000-х, посвященных этому вопросу. В целом реакции образования ГАА происходят в результате пиролиза аминокислот и белков. Именно продукты пиролиза аминокислот образуют мутагенные соединения, в то время как из продуктов пиролиза тех же нуклеиновых кислот, крахмала или масел не образуются соединения, обладающие мутагенными свойствами. Стоит отметить, что образование ГАА может происходить в результате пиролиза аминокислот, то есть даже не в результате реакции продуктов с другими их компонентами. Такие ГАА, как правило, относятся к неполярному классу. А вот уже большинство полярных ГАА — это результат реакции аминокислот, креатина или креатинина и углеводов в ходе реакции Майяра. Под реакцией Майяра подразумевается не какой-то единственный путь образования химических соединений, а комплекс разнообразных химических реакций. Изучение реакции Майяра со временем показало, что в ходе нее образуются пиразины, хиноксалины и пиридоимидазолы, которые в дальнейшем уже участвуют в реакциях образования ГАА [7].

Сильное влияние разных аминокислот было показано в работе [8], в которой исследовали приготовленные на гриле говяжьи стейки и котлеты. Результаты показали, что при таком способе термической обработки образуются как ГАА, относящиеся к аминоимидазоаренам, так и пиролитические ГАА. Среди аминоимидазоаренов в наибольшем количестве был обнаружен 4,8-DiMeIQx в диапазоне от 4,50 до 7,55 нг/г, далее был установлен MeIQx в диапазоне от 1,10 до 7,20 нг/г, MeIQ — от 1,70 до 5,30 нг/г и IQ — от 0,38 до 2,00 нг/г. В то же время 7,8-DiMeIQx, IQx и 4,7,8-TriMeIQx обнаружены не были. При этом в говяжьих котлетах ГАА присутствовали в больших количествах, чем в стейках. Авторы работы предполагают, что разница в содержании ГАА связана с тем, что в котлетах большее количество аминокислот и глюкозы, чем в стейках. Однако такое предположение может быть неверно ввиду того, что процесс теплопередачи в рубленых изделиях происходит лучше, чем в кусковых, поэтому в котлетах и образуется большее количество ГАА. В целом, авторы статьи привели корреляционную матрицу по зависимости содержания конкретного ГАА от аминокислот, креатинина и углеводов. Согласно приведенной матрице, содержание практически всех исследованных ими ГАА в наибольшей степени коррелирует с содержанием в продукте креатинина, глутаминовой кислоты и глюкозы.

Отдельная обзорная работа [9] посвящена вопросу образования ГАА со структурой аминоимидазоаренов. Все ГАА, принадлежащие к классу аминоимидазоаренов, обладают схожей структурой, включающей имидазольное кольцо, а также пиридиновое или пиразинное кольцо. Соответственно, реакции их образования должны быть весьма похожи. В настоящее время достоверно не удалось описать реакции их образования. Основное предположение базируется на том, что в ходе реакции Майяра образуются пиридины и пиразины, которые в дальнейшем вступают в реакцию с креатинином и альдегидом, в результате чего и образуются хинолины и хиноксалины. Эту теорию подтверждает способ синтеза MeIQ и MeIQx, который происходит путем реакции 2-метилпиридина или 2,5-диметилпиридина с креатинином и ацетальдегидом. Но в этом случае условия реакции далеки от условий реакций, происходящих в пищевой продукции при ее приготовлении, поэтому в последующих работах подтверждать его не стали. В настоящее время из всех аминоимидазоаренов только для PhIP получилось описать реакцию образования наиболее подробно, но тем не менее работы по этому вопросу еще не завершены. Примечательно то, что реакция образования PhIP не осуществляется описанным ранее путем. Согласно существующим теориям, образование гетероцикла происходит прямо во время самой реакции. В общем, реакция образования PhIP протекает следующим образом: она начинается с добавления креатинина к реакционноспособному карбонилу с образованием соответствующего альдола, который дегидратируется в дальнейшем. Образование пиридинового кольца и, соответственно, получение при этом PhIP происходит путем циклизации образовавшегося аддукта. Замыкание в кольцо происходит в присутствии аммиака и формальдегида. Аммиак и формальдегид

при этом могут реагировать между собой с образованием формамида, который тоже может выступать в роли промежуточного соединения. В целом, другие аминоимидазоарены могут образовываться таким же путем, как и PhIP, т. е. как следствие реакции карбонильных групп. Соответственно, как и с PhIP, гетероциклы других ГАА могут быть образованы путем циклизации и олигомеризации подходящих для этого альдегидов в обычных условиях приготовления пищевой продукции. Этот процесс протекает в случае присутствия всех необходимых для этого реагентов (например, креатина или креатинина), содержащихся в продукте. В работе [9] изучался вопрос влияния акролеина — продукта окисления жиров — на реакцию образования PhIP. В ходе работы было установлено, что акролеин заметно увеличивает количество PhIP в модельных системах. Акролеин способствует деградации Штрекера фенилаланина, реагирует с фенилаланином, креатинином и самим PhIP, а также увеличивает образование ключевых промежуточных для реакции образования PhIP веществ [10,11].

Другую свою работу авторы [12] посвятили экспериментальным исследованиям реакции образования MeIQ [9]. Полученные ими результаты показали, что образование MeIQ возможно только при условии присутствия 2-бутенала (кетонового альдегида). Реакция зависит от pH среды (наибольшее количество получено при pH 6,5) и от количества кетонового альдегида и креатинина. Отмечено, что аммиак, который получается в результате распада креатинина, тоже необходим в реакции образования MeIQ. Количество получаемого MeIQ также зависит от времени реакции, температуры и содержания кислорода в реакционной среде. Авторы предполагают следующую реакцию образования MeIQ: все начинается с образования аддукта из креатинина и кетонового альдегида, данный аддукт в дальнейшем вступает в реакцию с аммиаком с образованием соответствующего имина, результатом таутомеризации которого является енамин. Полученный енамин вступает в реакцию с кетоновым альдегидом с образованием очередного имина. Уже в этом имине присутствуют все атомы, которые присутствуют в MeIQ, дальнейшее получение которого происходит за счет электронной перестановки, циклизации, окисления и дегидратации. Течение этих процессов авторы работы предполагают двумя возможными путями.

Несмотря на то, что основная теория об образовании ГАА в пищевых продуктах основана на том, что ГАА — это продукт реакции аминокислот, углеводов и креатина, рядом работ было показано, что внесение в рецептуру разных источников углеводов приводит к снижению количества образующихся в ходе термической обработки ГАА [13]. Например, в работе [14] показано, что добавление к рыбе экстрактов черники, виноградных косточек и вишни ацеролы привело к значительному снижению суммарного количества ГАА относительно контрольного образца. Несмотря на то, что в таких экстрактах высокое содержание глюкозы, которая (исходя из основной теории) должна увеличивать количество ГАА, содержание в них разных фенолов, витаминов и других соединений, обладающих антиоксидантной активностью, нивелирует возможные катализирующие свойства в реакции образования ГАА. Результатами работы [15] также показано, что различные источники углеводов в комбинации с органическими кислотами могут приводить к снижению количества образующихся ГАА. В данной работе изучалось влияние на образование ГАА лимонной кислоты, источниками которой являлись лимон, лайм и цитрофортунелла. Также было исследовано влияние винной кислоты на количество образуемых ГАА, в качестве источника которой использовался тамаринд. В качестве источников сахара использовали мед, тростниковый сахар и белый сахар. Для эксперимента образцы мариновали в различных комбинациях описанных ранее ингредиентов. Результаты проведенных исследований показали, что комбинация в маринаде «лимон+мед» оказывает наибольшее ингибирующее воздействие на концентрации ГАА в готовом продукте, снижая при этом количество MeIQx примерно в 4 раза, а PhIP — примерно в 5 раз. Если отдельно выделять источники сахара, то наименьшие количества ГАА формируются в продукте при использовании тростникового сахара. Исходя из результатов этих работ, можно предположить, что теоретически углеводы могут обладать ингибирующими свойствами в реакции образования ГАА.

С другой стороны, результаты работы [16] показали, что использование сахарозы при термической обработке маринованной курицы приводит к увеличению количества образующихся ГАА. В проведенном эксперименте авторы помещали в железный горшок маринованные кусочки курицы, после чего включали нагрев. При достижении температуры поверхности 200–210 °C добавляли 40 г сахарозы и продолжали жарить образцы в течение 2, 4 и 6 минут. За контрольный образец принимали курицу, приготовленную без сахарозы. В результате авторы наблюдали увеличение суммарного количества ГАА в образцах с 20,99 нг/г до 44,05 нг/г. С увеличением

продолжительности термической обработки в сахарозе возрастало и количество образующихся ГАА. Таким образом, наблюдается сильный катализирующий эффект от добавления сахарозы.

В продолжение этой работы авторы в дальнейшем провели аналогичный эксперимент, но уже с добавлением листьев зеленого чая [17]. В результате было установлено, что с увеличением количества добавляемых чайных листьев возрастало и количество образующихся ГАА. Сильно это сказалось на количествах IQx, 7,8-DiMeIQx, 4,8-DiMeIQx, PhIP, AaC и MeAaC, концентрации которых были 2,99, 4,21, 1,69, 13,58, 1,93 и 8,00 нг/г соответственно. В большей степени добавление листьев зеленого чая увеличило содержание Harman и Norharman с 5,76 нг/г до 18,88 нг/г и с 43,15 нг/г до 128,46 нг/г соответственно. Суммарное количество ГАА возросло в среднем с 84,96 нг/г до 160,71 нг/г.

Известно, что при термической обработке мясной продукции помимо ГАА возможно также образование и ПАУ [18]. Авторы работы [19] изучали одновременное образование ГАА и ПАУ в модельных системах из фенилаланина, креатина и сахарозы. Результаты данной работы показали, что количество ГАА и ПАУ увеличивается в модельных системах с увеличением температуры и продолжительности термической обработки. В то же время результаты показали, что количество MeIQ и PhIP снижалось при повышении температуры обработки до 210 °C и 240 °C соответственно. Из ГАА наибольшее количество пришлось на IQ, а из ПАУ — на бензо[b]флуорантен.

В другой работе, посвященной исследованию образования ГАА в модельных системах [20], изучался вопрос влияния разных концентраций аминокислот на количество образующихся ГАА в смеси глюкозы, фенилаланина и креатина (теоретически основные прекурсоры в реакции образования PhIP). Для эксперимента были выбраны растворы разных концентраций триптофана, лизина, пролина, лейцина, метионина, валина, изолейцина, треонина, фенилаланина и аспарагина. Согласно полученным результатам, с увеличением концентрации триптофана, вносимого в модельную систему, количество образующегося PhIP снижалось вплоть до значений ниже предела обнаружения метода. Аналогичная картина наблюдалась и в образцах с лизином. Добавление в модельные матрицы растворов всех других аминокислот, за исключением аспарагина, также показало прямо пропорциональную зависимость — чем выше была концентрация добавляемой аминокислоты, тем меньшее количество PhIP образовывалось в модельной матрице, но в этих образцах добиться концентраций PhIP ниже предела обнаружения, как это было в образцах с триптофаном и лизином, не получилось. В образцах с аспарагином разные концентрации этой аминокислоты приводили как к снижению, так и к увеличению количества образовавшегося PhIP.

Помимо образования самих ГАА, в процессе термической обработки уже из сформированных ГАА в дальнейшем происходит образование их аддуктов с аминокислотами. Работа [21] посвящена этому вопросу. В результате исследования было установлено, что при термической обработке при температуре 200 °C в течение 5 минут PhIP связывается с глицином. Помимо PhIP, IQ и MeIQx также вступают в реакции с аминокислотами. Было установлено, что серин, цистеин и лизин тяжело вступают в реакцию с ГАА.

В работе [22] авторы изучали образование IQ, IQx, MeIQx, и 4,8-DiMeIQx в модельных матрицах, состоящих из креатина, глюкозы и треонина (теоретически основные прекурсоры в реакции образования ГАА с хинолином и хиноксалином в структуре). Проведенные исследования показали, что в модельных матрицах в наибольшем количестве образовывался IQ, а MeIQx — в наименьшем. Также наблюдалась прямо пропорциональная зависимость — чем больше была концентрация треонина и креатина в образце, тем большее количество ГАА в нем образовывалось. Учитывая, что ГАА вступают в реакцию с аминокислотами, получается возможной и их реакция с белками. Это было показано авторами работы [21] в работе [23], в ходе которой было доказано образование аддуктов PhIP с альбумином, гемоглобином и α -казеином.

Известно, что основные составляющие мяса — это аминокислоты, входящие в состав белка, жир и влага. Так, мышечная ткань животных (в том числе птицы и рыб) содержит до 0,5% креатина. Углеводов в мясном сырье фактически быть не должно, а если они присутствуют, то их количество не превышает 0,5%. Однако, согласно гипотезам и проведенным исследованиям, ГАА — результат реакции аминокислот, креатина и гексоз [13]. В то же время ряд работ показал, что источники различных углеводов, добавляемых к мясному сырью в процессе его термической обработки, не только увеличивают количество образующихся ГАА, но и проявляют ингибирующие свойства в реакции их образования. Поэтому целью настоящей работы было исследование образования PhIP и MeIQx в модельных системах из аминокислот, моно- и дисахаридов и креатина.

2. Материалы и методы

Для исследования были отобраны 10 аминокислот («Реахим», Россия): незаменимые аминокислоты (валин, фенилаланин, метионин, треонин, лизин, лейцин, изолейцин, триптофан), а также аспарагин и глутаминовая кислота. Перечисленные соединения были выбраны в связи с тем, что в мясном сырье они обычно присутствуют в больших количествах (в частности, глутаминовая кислота) по сравнению с другими аминокислотами. Для эксперимента были подготовлены смеси из каждой аминокислоты с сахарозой, глюкозой, фруктозой и лактозой (PanReas AppliChem, Германия) с добавлением креатина моногидрата (Merck, США) и воды (получена на системе MilliQDirect 8, Франция), а также одна контрольная группа без углеводов.

Экспериментальные матрицы готовили в фарфоровых тиглях, которые предварительно доводились до постоянной массы в сушильном шкафу (ШС 80–01, Россия) при температуре 105 °C в течение 30 минут, после чего были взвешены. Высушенные тигли хранились в эксикаторе. Для приготовления образца тигль из эксикатора ставили на лабораторные весы (Gibertini E50s, Gibertini Elettronica, Италия), в тигль последовательно вносили аминокислоту, углевод, креатин и дистиллированную воду и перемешивали палочкой из боросиликатного стекла. На основании проведенного анализа также был подготовлен 1 образец, состоящий только из фенилаланина и воды, с целью установления возможности образования PhIP без присутствия креатина и углеводов (образец ФА). Приготовленные в тиглях образцы помещали в предварительно нагретый до 200 °C сушильный шкаф, где они подвергались термической обработке в течение 20 минут. После термической обработки фарфоровые тигли помещались в эксикатор, где остывали до комнатной температуры. После охлаждения тигли с образцами взвешивались для дальнейших расчетов.

В Таблицах 1–5 приведены данные о составах, приготовленных в ходе настоящего эксперимента матриц, и об их массе до и после термической обработки.

Таблица 1. Состав экспериментальных контрольных образцов
Table 1. Composition of the experimental control samples

Использованная АК	m АК, мг	m креатина, мг	m углевода, мг	m воды, мг	m пробы до ТО*, мг	m пробы после ТО, мг
Валин	96,4	5,0	—	558,6	660,0	100,0
Фенилаланин	96,0	5,5	—	428,5	530,0	100,0
Метионин	99,0	5,0	—	466,0	570,0	100,0
Треонин	98,8	4,5	—	276,7	380,0	90,0
Лизин	103,4	4,5	—	322,4	430,3	110,0
Лейцин	98,8	4,5	—	1387,0	1490,3	104,0
Триптофан	101,2	5,3	—	1399,5	1506,0	100,0
Глутаминовая кислота	100,0	5,5	—	201,3	306,8	90,0
Аспарагин	96,5	4,6	—	124,9	226,0	100,0
Изолейцин	103,1	5,4	—	984,5	1093,0	110,0
ФА	96,7	—	—	415,08	511,78	100,0

Примечание: * термическая обработка.

Таблица 2. Состав экспериментальных образцов с сахарозой
Table 2. Composition of the experimental samples with saccharose

Использованная АК	m АК, мг	m креатина, мг	m углевода, мг	m воды, мг	m пробы до ТО, мг	m пробы после ТО, мг
Валин	105,1	4,5	4,5	548,5	662,6	100,0
Фенилаланин	102,0	4,8	5,1	420,1	532,0	80,0
Метионин	104,5	4,5	5,5	1002,8	1117,3	100,0
Треонин	105,3	4,5	5,0	746,5	861,3	100,0
Лизин	98,0	4,7	5,0	519,3	627,0	110,0
Лейцин	95,2	4,5	4,9	907,6	1012,2	94,0
Триптофан	99,1	5,2	5,1	1930,6	2040,0	80,0
Глутаминовая кислота	95,3	4,5	4,7	539,9	644,3	100,0
Аспарагин	97,5	4,5	5,0	419,7	526,7	100,0

Таблица 3. Состав экспериментальных образцов с глюкозой
Table 3. Composition of the experimental samples with glucose

Использованная АК	m АК, мг	m креатина, мг	m углеводов, мг	m воды, мг	m пробы до ТО, мг	m пробы после ТО, мг
Валин	100,3	4,5	4,7	452,6	562,1	96,0
Фенилаланин	97,6	5,0	4,5	645,5	572,6	89,0
Метионин	100	4,9	5,5	686,8	797,2	100,0
Треонин	104,8	4,7	4,6	355,3	469,4	99,0
Лизин	98,6	4,5	4,5	244,5	352,1	110,0
Лейцин	97,2	5,1	5,4	936,3	1043,0	100,0
Триптофан	102,3	4,5	5,4	1986,8	2099,0	100,0
Глутаминовая кислота	103,2	4,3	2,6	270,0	382,3	87,0
Аспарагин	100,4	5,0	4,6	337,1	446,1	103,0
Изолейцин	96,2	4,8	5,1	1094,9	1201,0	95,0

Таблица 4. Состав экспериментальных образцов с фруктозой
Table 4. Composition of the experimental samples with fructose

Использованная АК	m АК, мг	m креатина, мг	m углеводов, мг	m воды, мг	m пробы до ТО, мг	m пробы после ТО, мг
Валин	102,1	4,9	4,8	765,5	877,3	100,0
Фенилаланин	100,6	5,2	5,3	718,1	829,2	97,0
Метионин	100,2	4,9	4,5	768,8	878,4	98,0
Треонин	108,0	5,5	4,5	384,7	502,7	101,0
Лизин	101,2	4,9	4,6	297,4	408,1	115,0
Лейцин	103,2	4,5	4,6	1205,9	1318,2	106,0
Триптофан	104,3	4,8	5,3	1410,1	1524,5	108,0
Глутаминовая кислота	101,9	5,2	4,7	358,61	470,4	87,0
Аспарагин	101,7	5,1	4,9	419,4	531,1	106,0
Изолейцин	99,1	4,9	5,2	862,4	971,6	98,0

Таблица 5. Состав экспериментальных образцов с лактозой
Table 5. Composition of the experimental samples with lactose

Использованная АК	m АК, мг	m креатина, мг	m углеводов, мг	m воды, мг	m пробы до ТО, мг	m пробы после ТО, мг
Валин	103,9	4,6	5,0	458,5	572,0	98,0
Фенилаланин	98,3	5,2	5,3	445,5	554,3	84,0
Метионин	100,0	4,8	5,0	438,4	548,2	97,0
Треонин	102,0	5,4	4,6	761,5	873,5	76,0
Лизин	103,9	4,6	4,6	330,2	443,3	113,0
Лейцин	96,2	5,4	5,0	770,6	877,2	103,3
Триптофан	97,5	5,5	5,2	1162,8	1,271	100,0
Глутаминовая кислота	101,0	5,5	5,5	320,5	432,5	88,0
Аспарагин	97,1	5,3	5,0	328,7	436,1	99,0

Содержание ГАА в полученных образцах определяли по [24].

Для расчетов использовалась программа STATISTICA 10, результаты представлялись в виде «Mean±SD», статистическую достоверность рассчитывали с применением дисперсионного анализа (ANOVA) при помощи критерия Тьюки. Вероятность 0,05 была выбрана в качестве значимого уровня.

3. Результаты и обсуждение

Результаты содержания ГАА в полученных образцах приведены в Таблицах 6 и 7.

Как видно из Таблицы 6, в контрольном образце MeIQx образовался только в образцах с треонином и аспарагином. Наибольшее количество MeIQx обнаружено в образце со смесью треонина и сахарозы. В целом во всех образцах с треонином установлено наибольшее

количество MeIQx относительно других образцов. При рассмотрении образцов с треонином стоит отметить, что только в смеси с сахарозой количество MeIQx было выше, чем в контрольном образце. В образцах с другими углеводами его количество было в $\approx 2,5\text{--}3$ раза меньше. Аналогичная картина наблюдается и в образцах с валином, лизином, метионином, лейцином и глутаминовой кислотой, т. е. 6 из 10 выбранных аминокислот образуют наибольшее количество MeIQx именно с сахарозой. Для образцов с треонином и аспарагином, где MeIQx образовался в контрольных образцах, следует отметить, что сахара выступают в роли катализатора, а глюкоза, фруктоза и лактоза в роли ингибиторов в реакции образования MeIQx.

Из оставшихся углеводов не представляется возможным выделить явный ингибитор или катализатор в реакции образования ГАА. Низкую реакционную способность в реакции образования проявила лактоза — из 9 аминокислот в смеси с ней MeIQx образовался в 3 образцах, причем в образце с аспарагином это единственный углевод, который не привел к образованию MeIQx, учитывая, что он был обнаружен в контрольном образце. А в образце с треонином лактоза привела к снижению количества MeIQx на $\approx 52\%$ относительно контрольного образца. Но при этом внесение лактозы привело к образованию MeIQx в образцах с валином и фенилаланином.

Добавление глюкозы к аминокислотам не привело к образованию MeIQx в образцах с метионином, лейцином и изолейцином. В смеси с треонином, как и лактоза, глюкоза снизила количество MeIQx на $\approx 57\%$. Однако она привела к образованию MeIQx в образцах фенилаланином, лизином, глутаминовой кислотой и триптофаном. Смесь триптофана с глюкозой — единственная из смесей триптофана с углеводами, где наблюдается образование MeIQx.

Добавление фруктозы к аминокислотам не привело к образованию MeIQx только в образце с триптофаном. В образце с треонином фруктоза проявила наибольшие ингибирующие свойства в сравнении с глюкозой и лактозой, снижение количества MeIQx относительно контрольного образца составило 67%. Ингибирующие свойства фруктозы также видны в образце с аспарагином — снижение количества MeIQx относительно контрольного образца $\approx 48\%$. В образце с фенилаланином отмечено наибольшее количество MeIQx среди всех комбинаций фенилаланина с углеводами.

Из выбранных аминокислот триптофан оказался наименее реакционноспособным. MeIQx образовался только в смеси триптофана с глюкозой, причем его количество было ниже, чем в любом другом образце.

Известно, что сахара состоят из остатков глюкозы и фруктозы, но результаты показали, что сахара в реакции образования MeIQx ведет себя иначе, чем глюкоза или фруктоза. Например, в образце с треонином, как уже было отмечено, и глюкоза, и фруктоза снизили количество MeIQx, а в образце с сахарозой установлено большее количество MeIQx относительно контрольного образца. Аналогичная картина наблюдается в образце с аспарагином.

Сравнить полученные результаты представляется возможным только с работой [22], в которой изучали вопрос образования IQ, IQx и MeIQx в модельных системах. Как было описано ранее, в модельной смеси с креатином, треонином и глюкозой от их концентрации установлена прямо пропорциональная зависимость количества образующихся ГАА. В нашей же работе показано, что добавление глюкозы к смеси треонина с креатином, наоборот, приводит к снижению образующегося MeIQx, на основании чего можно сделать вывод, что глюкоза, скорее, является ингибитором в реакции его образования, как и глюкоза и фруктоза. А вот сахара, которая состоит из глюкозы и фруктозы, как ни странно, наоборот, увеличивает количество образующегося MeIQx.

В отличие от MeIQx, PhIP образовался практически в каждом исследованном образце. PhIP не был обнаружен только в смесях лизина с сахарозой, метионина, лейцина и изолейцина с глюкозой, а также аспарагина с лактозой. Наивысшие уровни PhIP были в образцах с фенилаланином. Колоссальные количества указывают на то, что именно эта аминокислота является главным прекурсором в реакции образования PhIP, т. к. его количества в сотни, а то и тысячи раз выше, чем в других образцах (кроме образцов с триптофаном). Это подтверждают и результаты исследования образца «ФА», где был только фенилаланин — в нем, хоть и креатин к аминокислоте не добавлялся, в относительно небольших количествах PhIP был так же обнаружен. В данном случае уже фруктоза является катализатором в реакции образования PhIP, а сахара, глюкоза и лактоза обладают более ингибирующими свойствами.

Большие количества PhIP также обнаружены в образцах с триптофаном. Его количество в каждом из образцов превышает 1500 нг/г. В них, аналогично с образованием MeIQx в образцах с треонином

Таблица 6. Содержание MeIQx в исследованных образцах, нг/г
 Table 6. Content of MeIQx in the studied samples, ng/g

Акс/углевод	контроль	Сахароза	глюкоза	фруктоза	лактоза
Валин	Менее 0,1	16,95 ^a ±0,41	4,82 ^b ±0,14	7,21 ^{a*} ±0,12	8,48 ^r ±0,07
Фенилаланин	Менее 0,1	2,05 ^a ±0,05	1,64 ^b ±0,07	3,05 ^a ±0,04	1,76 ^{b~} ±0,07
Метионин	Менее 0,1	4,00 ^a ±0,11	Менее 0,1	3,26 ^b ±0,14	Менее 0,1
Треонин	94,14 ^{a*} ±0,93	138,39 ^b ±2,51	41,05 ^c ±0,63	31,05 ^c ±1,09	45,28 ^{a*} ±0,64
Лизин	Менее 0,1	13,56 ^{a*} ±0,35	9,31 ^b ±0,14	4,30 ^a ±0,13	Менее 0,1
Лейцин	Менее 0,1	2,60 ^a ±0,32	Менее 0,1	1,80 ^b ±0,07	Менее 0,1
Триптофан	Менее 0,1	Менее 0,1	1,18±0,03	Менее 0,1	Менее 0,1
Глутаминовая кислота	Менее 0,1	1,56 ^a ±0,02	1,26 ^b ±0,04	1,38 ^a ±0,52	Менее 0,1
Аспарагин	6,78 ^a ±0,35	14,15 ^b ±0,94	1,40 ^a ±0,06	3,54 ^r ±0,07	Менее 0,1
Изолейцин	Менее 0,1	—	Менее 0,1	3,01±0,10	—
Образец «ФА»		10,81			

Примечание: результаты представлены в виде «среднее значение трех параллельных измерений ± стандартное отклонение». Стандартное отклонение показывает точность метода.
 Буквы а, б, в, г, д показывают достоверную разницу между полученными результатами в строках.
 Знаки (*, ~, ^) показывают достоверную разницу между полученными результатами в столбцах.

Таблица 7. Содержание PhIP в исследованных образцах, нг/г
 Table 7. Content of PhIP in the studied samples, ng/g

Акс/углевод	контроль	сахароза	глюкоза	фруктоза	лактоза
Валин	9,77 ^a ±0,22	50,21 ^b	47,31 ^a ±0,31	38,58 ^r ±0,49	97,50 ^{a*} ±0,52
Фенилаланин	20136,12 ^{a*} ±613,35	13412,22 ^b ±521,69	7159,79 ^{a*} ±58,51	27837,79 ^{a*} ±291,98	8505,41 ^{a*} ±13,37
Метионин	20,72 ^a ±0,74	27,72 ^b ±0,26	Менее 0,1	2,38 ^a ±0,03	24,78 ^r ±0,31
Треонин	193,62 ^a ±0,88	280,61 ^b ±11,19	162,11 ^{a*} ±1,72	80,99 ^r ±0,18	414,37 ^{a*} ±8,73
Лизин	19,62 ^a ±0,09	Менее 0,1	69,66 ^b ±2,30	36,38 ^a ±0,26	119,22 ^{r@} ±0,94
Лейцин	0,68 ^a ±0,04	8,46 ^b ±0,48	Менее 0,1	5,09 ^a ±0,08	12,06 ^r ±0,25
Триптофан	2593,66 ^{a~} ±85,82	4891,36 ^b ±32,79	1791,19 ^{a*} ±20,09	2160,43 ^c ±51,29	2064,00 ^{a*} ±8,37
Глутаминовая кислота	10,14 ^a ±0,04	5,44 ^b ±0,29	3,16 ^a ±0,31	42,41 ^r ±0,51	1,93 ^a ±0,03
Аспарагин	1,58 ^a ±0,05	10,23 ^b ±0,48	7,94 ^a ±0,39	27,24 ^r ±0,17	Менее 0,1
Изолейцин	10,42 ^a ±0,55	—	Менее 0,1	5,49 ^b ±0,17	—
Образец «ФА»		64,45			

Примечание: результаты представлены в виде «среднее значение трех параллельных измерений ± стандартное отклонение». Стандартное отклонение показывает точность метода.
 Буквы а, б, в, г, д показывают достоверную разницу между полученными результатами в строках.
 Знаки (*, ~, ^, @, &) показывают достоверную разницу между полученными результатами в столбцах.

и аспарагином, наблюдаются катализирующие свойства сахарозы и ингибирующие свойства глюкозы, фруктозы и лактозы в реакции образования PhIP.

Сравнивая полученные результаты с работой [20], в которой к смеси креатина, фенилаланина и глюкозы добавляли аминокислоты и установили, что их внесение снижает количество образующегося PhIP, можно сказать, что глюкоза, как и в случае с MeIQx, обладает более ингибирующими свойствами в реакции образования PhIP. Также можно предположить, почему внесение других аминокислот в работе [20] привело к снижению количества образующегося PhIP. Как показали результаты настоящей работы, PhIP образуется в смеси с каждой выбранной аминокислотой в контрольных образцах и практически во всех смесях этих аминокислот с углеводами. Таким образом, справедливо предположить, что другие аминокислоты, вступая в реакцию с креатином, также образуют другие соединения, возможно, другие ГАА, но в том числе и PhIP, поэтому остается меньше креатина для реакции с фенилаланином, с которым и возможно образование наибольшего количества PhIP.

Добавление к аминокислотам сахарозы привело к увеличению PhIP в 7 образцах из 10. Увеличение составило ≈ 513%, ≈ 133%, ≈ 144%, ≈ 1244%, ≈ 188% и ≈ 647% относительно контрольного образца для валина, метионина, треонина, лейцина, триптофана и аспарагина соответственно. Добавление сахарозы к фенилаланину, лизину и глутаминовой кислоте привело к снижению количества PhIP на ≈ 34%, 100%, ≈ 46% соответственно.

Глюкоза показала себя с большинством аминокислот как ингибитор в реакции образования PhIP. В 7 из 10 образцах его количество снизилось на ≈ 64%, 100%, ≈ 16%, 100%, ≈ 30%, ≈ 68%, 100% в образцах с фенилаланином, метионином, треонином, лейцином, триптофаном, глутаминовой кислотой и изолейцином соответственно. В оставшихся образцах с валином, лизином и аспарагином количество PhIP увеличилось на ≈ 384%, ≈ 255%, ≈ 402% соответственно.

Фруктоза — единственный углевод, который привел к увеличению количества PhIP в образцах с фенилаланином — ≈ 138% относительно контрольного образца. В образцах с валином, лизином, лейцином, глутаминовой кислотой и аспарагином добавление фруктозы также привело к увеличению количества PhIP на ≈ 294%, 85%, ≈ 648%, ≈ 318%, 1624% соответственно. В образцах с метионином, треонином, триптофаном и изолейцином количество PhIP снизилось на ≈ 88%, ≈ 58%, ≈ 16% и 47% соответственно.

Из всех аминокислот добавление лактозы только к аспарагиновой кислоте не привело к образованию PhIP. С другими же аминокислотами лактоза, как и другие углеводы, проявила и ингибирующие, и катализирующие свойства. Добавление лактозы увеличило количество PhIP в образцах с валином, метионином, треонином, лизином и лейцином на ≈ 898%, ≈ 20%, ≈ 213%, ≈ 508%, ≈ 1674% соответственно. В образцах с триптофаном и глутаминовой кислотой количество PhIP снизилось на 20% и 80% соответственно.

Как было отмечено ранее, несмотря на то, что сахароза включает в себя остатки глюкозы и фруктозы, ее свойства в реакции образования MeIQx не такие, как у глюкозы или фруктозы. Так же и в реакции образования PhIP. Так в образцах с метионином, треонином, триптофаном сахароза увеличила количество PhIP, в то время, как и глюкоза, и фруктоза снизили его количество в образцах с теми же аминокислотами.

Подводя итоги, следует сказать, что наиболее эффективный углевод в вопросе снижения ГАА — глюкоза. Несмотря на то, что добавление глюкозы к 5 из исследованных аминокислот приводит к образованию MeIQx, она снижает количество MeIQx в смеси с треонином и аспарагином. Но, что более важно, наблюдается значительное снижение количества PhIP в исследованных образцах с фенилаланином и триптофаном, где были обнаружены наибольшие количества PhIP. В образце с триптофаном количество PhIP снизилось на 802,47 нг/г, а с фенилаланином — на 12976,33 нг/г. И в случае с MeIQx, и в случае

с PhIP (не считая образцов с фенилаланином и триптофаном) наблюдалось снижение уровня ГАА, превышающее суммарное количество ГАА, обнаруженное во всех аминокислотах при их смешивании с льюбином из исследованных углеводов.

4. Выводы

Проведенные исследования модельных матриц показали важную роль углеводов в процессе образования ГАА в мясной продукции — углеводы в реакциях образования MeIQx и PhIP могут быть и ингибиторами, и катализаторами. Особенно сильные ингибирующие свойства продемонстрировала глюкоза. На основании описанного можно сделать вывод о том, что использование источников, богатых глюкозой, при приготовлении мясных изделий, приведет к снижению количества образующихся ГАА. Полученные результаты могут стать очередным шагом к пониманию реакций образования ГАА, что в свою очередь позволит искать более эффективные способы снижения количества образующихся канцерогенов в пищевой продукции.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГАА	гетероциклические ароматические амины
IQ	2-амино-3-метил-имидазо[4,5-f]-хинолин
IQx	2-амино-3-метил-имидазо[4,5-f]-хиноксалин
MeIQ	2-амино-3,4-диметил-имидазо[4,5-b]-хинолин
MeIQx	2-амино-3,8-диметилимидазо[4,5-f]-хиноксалин
DiMeIQx	2-амино-3,4,8-триметилимидазо[4,5-f]-хиноксалин
PhIP	2-амино-1-метил-6-фенилимидазо[4,5-b]-пиридин
7,8-DiMeIQx	2-амино-3,7,8-триметилимидазо[4,5-f]-хиноксалин
4,7,8-TriMeIQx	2-амино-3,4,7,8-тетраметил-3H-имидазо[4,5-f]-хиноксалин
АaC	2-амино-3-метил-альфа-карболин
MeAaC	2-амино-альфа-карболин
Harman	1-метил-9H-пиридо[3,4-b]индол
Norhaman	9H-пиридо[3,4-b]индол

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Barzegar, F., Kamankesh, M., Mohammadi, A. (2019). Heterocyclic aromatic amines in cooked food: A review on formation, health risk-toxicology and their analytical techniques. *Food Chemistry*, 280, 240–254. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.058>
- Oz, E., Oz, F. (2022). Mutagenic and/or carcinogenic compounds in meat and meat products: Heterocyclic aromatic amines perspective. *Theory and Practice of Meat Processing*, 7(2), 112–117. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2022-7-2-112-117>
- Sugimura, T., Sato, S., Nagao, M., Yahagi, T., Matsushima, T., Seino, Y. et al. (1976). Overlapping of carcinogens and mutagens. Chapter in a book: Fundamentals in cancer prevention. Baltimore: University Park Press, 1976.
- Rahman, U., Sahar, A., Khan, M.I., Nadeem, M. (2014). Production of heterocyclic aromatic amines in meat: Chemistry, health risks and inhibition. A review. *LWT — Food Science and Technology*, 59(1), 229–233. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.005>
- Zöchling, S., Murkovic, M. (2002). Formation of the heterocyclic aromatic amine PhIP: Identification of precursors and intermediates. *Food Chemistry*, 79(1), 125–134. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00214-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00214-5)
- Murkovic, M. (2004). Formation of heterocyclic aromatic amines in model systems. *Journal of Chromatography B*, 802(1), 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2003.09.026>
- Gibis, M. (2016). Heterocyclic aromatic amines in cooked meat products: Causes, formation, occurrence, and risk assessment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 269–302. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12186>
- Szterk, A. (2015). Heterocyclic aromatic amines in grilled beef: The influence of free amino acids, nitrogenous bases, nucleosides, protein and glucose on HAAs content. *Journal of Food Composition and Analysis*, 40, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.12.011>
- Zamora, R., Hidalgo, F.J. (2020). Formation of heterocyclic aromatic amines with the structure of aminoimidazoarenes in food products. *Food Chemistry*, 313, Article 126128. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126128>
- Jing, M., Jiang, Q., Zhu, Y., Fan, D., Wang, M., Zhao, Y. (2022). Effect of acrolein, a lipid oxidation product, on the formation of the heterocyclic aromatic amine 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]pyridine (PhIP) in model systems and roasted tilapia fish patties. *Food Chemistry: X*, 14, Article 100315. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100315>
- Hidalgo, F.J., Alcón, E., Zamora, R. (2013). Cysteine- and serine-thermal degradation products promote the formation of Strecker aldehydes in amino acid reaction mixtures. *Food Research International*, 54(2), 1394–1399. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.09.006>
- Zamora, R., Lavado-Tena, C.M., Hidalgo, F.J. (2020). Reactive carbonyls and the formation of the heterocyclic aromatic amine 2-amino-3,4-dimethylimidazo[4,5-f]quinoline (MeIQ). *Food Chemistry*, 324, Article 126898. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126898>
- Hee, P.-T.E., Liang, Z., Zhang, P., Fang, Z. (2024). Formation mechanisms, detection methods and mitigation strategies of acrylamide, polycyclic aromatic hydrocarbons and heterocyclic amines in food products. *Food Control*, 158, Article 110236. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110236>
- Li, M., Lin, S., Wang, R., Gao, D., Bao, Z., Chen, D. et al. (2022). Inhibitory effect and mechanism of various fruit extracts on the formation of heterocyclic aromatic amines and flavor changes in roast large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*). *Food Control*, 131, Article 108410. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108410>
- Jinap, S., Hasnol, N.D.S., Sanny, M., Jahurul, M.H.A. (2018). Effect of organic acid ingredients in marinades containing different types of sugar on the formation of heterocyclic amines in grilled chicken. *Food Control*, 84, 478–484. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.08.025>
- Zhang, L., Wang, H., Xia, X., Xu, M., Kong B., Liu, Q. (2021). Comparative study on the formation of heterocyclic aromatic amines in different sugar smoking time. *Food Control*, 124, Article 107905. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107905>
- Zhang, L., Wang, Q., Wang, Z., Chen, Q., Sun, F., Xu, M. et al. (2022). Influence of different ratios of sucrose and green tea leaves on heterocyclic aromatic amine formation and quality characteristics of smoked chicken drumsticks. *Food Control*, 133(A), Article 108613. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108613>
- Oz, E. (2022). Mutagenic and/or carcinogenic compounds in meat and meat products: Polycyclic aromatic hydrocarbons perspective. *Theory and Practice of Meat Processing*, 7(4), 282–287. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2022-7-4-282-287>
- Ishak, A.A., Jinap, S., Sukor, R., Sulaiman, R., Abdulmalek, E., Nor Hasyimah, A.K. (2022). Simultaneous kinetics formation of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in phenylalanine model system. *Food Chemistry*, 384, Article 132372. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132372>
- Linghu, Z., Karim, F., Smith, J.S. (2017). Amino acids inhibitory effects and mechanism on 2-Amino-1-Methyl-6-Phenylimidazo[4,5-b]Pyridine (PhIP) formation in the maillard reaction model systems. *Journal of Food Science*, 82(12), 3037–3045. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13959>
- Kataoka, H., Miyake, M., Saito, K., Mitani, K. (2012). Formation of heterocyclic amine-amino acid adducts by heating in a model system. *Food Chemistry*, 130(3), 725–729. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.094>
- Dennis, C., Karim, F., Smith, J. S. (2015). Evaluation of maillard reaction variables and their effect on heterocyclic amine formation in chemical model systems. *Journal of Food Science*, 80(2), T472–T478. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12737>
- Kataoka, H., Miyake, M., Nishioka, S., Matsumoto, T., Saito, K., Mitani, K. (2010). Formation of protein adducts of 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]pyridine in cooked foods. *Molecular Nutrition and Food Research*, 54(7), 1039–1048. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900066>
- Utyanov, D.A., Kulikovskii, A.V., Knyazeva, A.S., Kurzova, A.A., Ivankin, A.N. (2021). Methodical approach for determination of the heterocyclic aromatic amines in meat products using HPLC–MS/MS. *Theory and Practice of Meat Processing*, 6(2), 118–127. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2021-6-2-118-127>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ		AUTHOR INFORMATION	
Принадлежность к организации		Affiliation	
Утьянов Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, научный сотрудник, лаборатория «Научно-методические работы, биологические и аналитические исследования», Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7–495–676–79–61 E-mail: d.utyanov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7693-3032 * автор для контактов		Dmitry A. Utyanov , Candidate of Technical Sciences, Scientific Worker, Laboratory of Scientific and Methodical Work, Biological and Analytical Research, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7–495–676–79–61 E-mail: d.utyanov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7693-3032 * corresponding author	
Куликовский Андрей Владимирович — кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Научно-методические работы, биологические и аналитические исследования», Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316 Москва, ул. Талалихина 26, Тел.: +7–495–676–79–81 E-mail: a.kulikovskii@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9140-5390		Andrey V. Kulikovskii , Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory of Scientific and Methodical Work, Biological and Analytical Research, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7–495–676–60–11 E-mail: a.kulikovskii@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9140-5390	
Хвостов Даниил Владиславович — кандидат технических наук, научный сотрудник, лаборатория «Молекулярной биологии и биоинформатики», Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7–495–676–79–81 E-mail: d.hvostov@fncps.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-3445-4559		Daniil V. Khvostov , Candidate of Technical Sciences, Scientific Worker, Laboratory of Molecular Biology and Bioinformatics, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7–495–676–79–81 E-mail: d.hvostov@fncps.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-3445-4559	
Курзова Анастасия Александровна — младший научный сотрудник, лаборатория «Научно-методические работы, биологические и аналитические исследования», Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7–495–676–79–61 E-mail: a.kurzova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5679-3984		Anastasiya A. Kurzova , Junior Researcher, Laboratory of Scientific and Methodical Work, Biological and Analytical Research V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7–495–676–79–61 E-mail: a.kurzova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5679-3984	
Критерии авторства		Contribution	
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.		The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.	
Конфликт интересов		Conflict of interest	
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.		The authors declare no conflict of interest.	