

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/335735043>

The mechanism of formation of heterocyclic aromatic amines in the food products

Article · January 2019

DOI: 10.30975/2073-4999-2019-21-4-26-29

CITATIONS

2

READS

63

4 authors:



Dmitry Utyanov

V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems

39 PUBLICATIONS 48 CITATIONS

SEE PROFILE



Andrey Kulikovskii

Gorbatov Research Center for Food SyStems

67 PUBLICATIONS 195 CITATIONS

SEE PROFILE



Natalia Vostrikova

V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of S...

78 PUBLICATIONS 255 CITATIONS

SEE PROFILE

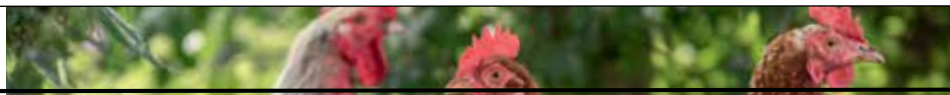


Oksana Kuznetsova

The Gorbatov's All-Russian Meat Research Institute

36 PUBLICATIONS 218 CITATIONS

SEE PROFILE



УДК 543.544.3

DOI 10.30975/2073-4999-2019-21-4-26-29

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ АМИНОВ В ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

THE MECHANISM OF FORMATION OF HETEROCYCLIC AROMATIC AMINES IN THE FOOD PRODUCTS

Утьянов Д.А., аспирант*D.A. Utyanov, PhD student***Куликовский А.В.**, ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук*A.V. Kulikovskiy, leading researcher, PhD in Technics***Вострикова Н.Л.**, заведующая лабораторией, канд. техн. наук*N.L. Vostrikova, Head of laboratory, PhD in Technics***Кузнецова О.А.**, врио директора, д-р техн. наук*O.A. Kuznetsova, acting director, Dr.Sci. in Technics*

ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН), Москва

FSBSI "Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatov" RAS (FSBSI "FSC of Food Systems named after V.M. Gorbatov" RAS), Moscow

Аннотация: При различных видах термической обработки в продуктах образуются ксенобиотики разнообразных профилей. Одними из наиболее изученных являются полиароматические углеводороды, но это не единственные циклические ароматические соединения, образующиеся в пищевой продукции. Кроме них, при определенных условиях образуются гетероциклические ароматические амины, процесс образования которых описан в настоящей обзорной статье.

Abstract: During the heat treatment xenobiotics of wide range are generated in food products. Among the most studied are PAHs, but they are not the only cyclic aromatic compounds formed in food products. Besides them, under certain conditions, heterocyclic aromatic amines are formed, the process of formation of which is described in this article.

Ключевые слова: ксенобиотики, гетероциклические ароматические амины, канцерогены, пищевая продукция.

Key Words: xenobiotics, heterocyclic aromatic amines, carcinogens, food products.

В последнее время проводится все больше исследований, посвященных вопросу приобретения пищевой продукцией канцерогенных свойств. Прежде всего, это относится к копченым изделиям, которые могут содержать полиароматические углеводороды (ПАУ), являющиеся продуктом пиролиза древесины [1]. Национальный институт рака США сообщает, что при термической обработке пищевой продукции с высоким содержанием белка (мяса, птицы, рыбы) образуются гетероциклические ароматические амины (ГАА) — вещества, известные своими выраженными канцерогенными свойствами [2].

Необходимость исследования процесса образования и количественного содержания ГАА обусловлена наличием мутагенной и канцерогенной активности данной группы веществ, способных вызывать рак различных органов (преимущественно толстой

и прямой кишок). Это было доказано с помощью теста Эймса, а также в ходе продолжительных экспериментов над грызунами и обезьянами [16].

ГАА — это группа веществ, образующихся в пищевой продукции в ходе воздействия на нее высоких температур (преимущественно жарки, жарки на открытом огне, гриле и т.п.). Предположительно эти вещества образуются из креатинина/креатина, углеводов и аминокислот [2].

Установлено, что ГАА можно обнаружить как в промышленно произведенной пищевой продукции с высоким содержанием белка, так и в пище домашнего приготовления. Содержание ГАА в пищевой продукции варьируется от 1 до 100 мкг/кг, причем оно зависит от температуры тепловой обработки сырья. От нее также зависит и профиль веществ, относящихся к ГАА. Согласно результатам исследований, опубликованных в 2008, 2011

и 2012 гг., в пищевой продукции обнаруживали более 10 наименований ГАА, каждый из которых был характерен для того или иного вида термической обработки [3, 4].

ГАА были открыты профессором Такаши Сигимурой и его сотрудниками в 1977 г. как результат домашних процессов приготовления пищи. Начало работ по изучению ГАА было инициировано в связи с предположением, что дым, образующийся при термообработке высокобелковых пищевых продуктов типа мяса, рыбы и птицы, может быть канцерогенным. В итоге было открыто 20 разных соединений, не зарегистрированных как рецептурные компоненты, которые действительно образуются при термообработке; они и попали в категорию ГАА [4, 5].

В 80-х годах прошлого столетия на основании гипотезы об образовании мутагенных ГАА групп имидазо-



хинолинов и имидазохиноксалинов в ходе реакции Майяра был предложен механизм образования ГАА (рис. 1). Согласно ему, в результате циклизации и отщепления воды креатин превращается в креатинин и формирует амино-имидазольную часть ГАА, а продукты деградации Штреккера, например производные пиридина или пиразины, образующиеся в результате реакции Майяра между гексозами и свободными аминокислотами, «достраивают» химическую структуру ГАА. Обязательным участником «достройки» молекулы ГАА является так называемый альдегид Штреккера (или соответствующее основание Шиффа), который также образуется в результате деградации аминокислот по Штреккеру.

ГАА имеют в своем составе как минимум одно гетероциклическое кольцо и аминогруппу. Гетероциклическое кольцо — это циклический углеводород, в котором один или более атомов углерода заменен(ы) другим(и) атомом(ами) — гетероатомом(ами). В большинстве случаев гетероатом — это азот, чуть реже — кислород и еще реже — сера. В случаях, когда гетероатом — азот, соединение является амином, в других случаях аминогруппа присоединена к гетероциклу. У большинства ГАА, за исключением группы β -карболинов (таких как гарман и норгарман), аминогруппа находится вне циклов.

Образующиеся в результате термической обработки высокобелковой пищи ГАА, которые и относятся к канцерогенам, можно разделить на две основные группы.

К первой относятся аминокимидазоарены (АИА) или «термические» ГАА, которые имеют в своей молекуле N-метил-2-аминоимидазол. Такие ГАА обычно образуются при «домашних» температурах приготовления пищи — от 150 до 220°C, прежде всего в результате реакции продуктов пиролиза аминокислот (таких как пиридин и пиразин) с креатином и углеводами, образуя имидазохинолины (IQ), имидазохиноксалины (IQx), и имидазопиридины [4].

На рисунке 2 изображена предположительная реакция образования IQ и IQx. В зависимости от полярности

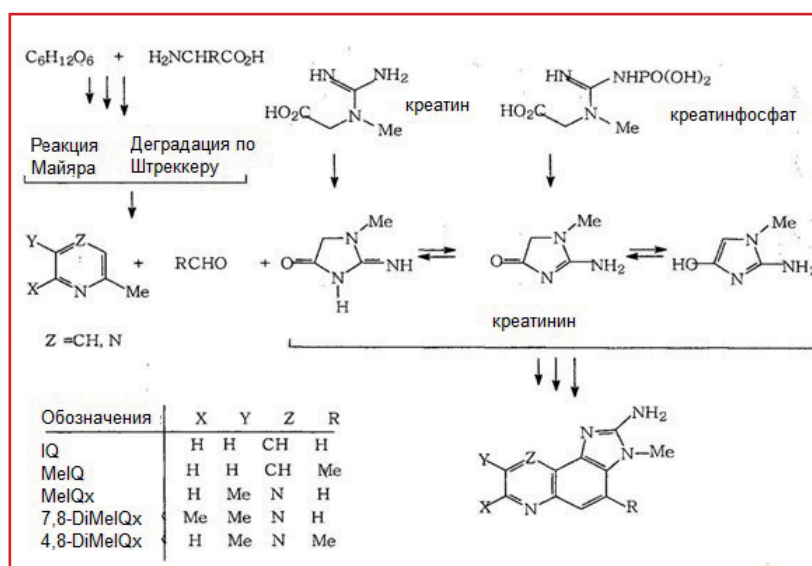


Рис. 1. Механизм образования ГАА

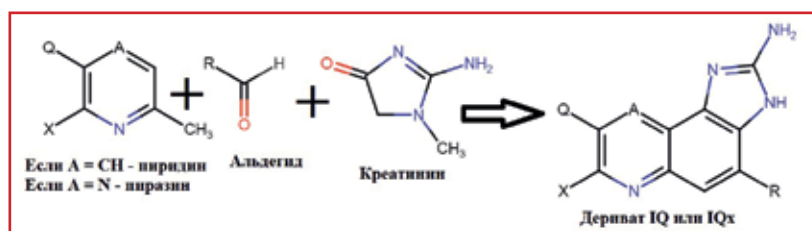


Рис. 2. Предположительная реакция образования IQ и IQx

аминоимидазоарены можно разделить на полярные и неполярные.

Вторая группа — «пиролитические» ГАА, или аминокарболины, образуются при более высоких температурах (свыше 250–300°C) путем термического разрушения триптофана, фенилаланина, орнитина и глутаминовой кислоты. При высоких температурах эти аминокислоты образуют дезаминированные и декарбокисильные продукты с реакционноспособными радикальными фрагментами, при конденсации которых создаются гетероциклические кольцевые структуры. Эта группа в основном включает в себя один из фрагментов пяти структурно различных групп пиридинола, пиридоимидазола, фенилпиридина, тетраазафлюорантана или бензимидазола (рис. 3) [4].

Ввиду того что АИА образуются при более низких, так сказать при бытовых, температурах приготовления пищи, они являются более распространенными и соответственно лучше изученными мутагенными и канцерогенными ГАА. Альфа- и гамма-карболины в основном образуются в резуль-

тате пиролиза растительных белков в концентрациях в 10–100 раз меньших, чем бета-карболины, такие как гарман и норгарман [6, 7].

В 1993 г. Международное агентство по изучению рака (МАИР) рассмотрело 8 гетероциклических ароматических аминов (MeIQ, 8-MeIQx, PhIP, A α C, MeA α C, Trp-P-1, Trp-P-2 и Glu-P-1) как возможные канцерогены для человека и рекомендовало уменьшить применение этих соединений. Так, в 2004 г. указанные ГАА были отражены в Национальной программе по токсикологии как канцерогены [8]. Полученные выводы основаны на результатах долгосрочных экспериментов на животных [16]. Хотя эпидемиологические данные свидетельствуют о том, что потребление жареного мяса связано с повышенным риском развития рака у людей, они все же недостаточны для подтверждения того, что этот риск обусловлен присутствием ГАА. Выборочные исследования показали противоречивые результаты.

ГАА, семейство мутагенных соединений [9], образуются во время процесса

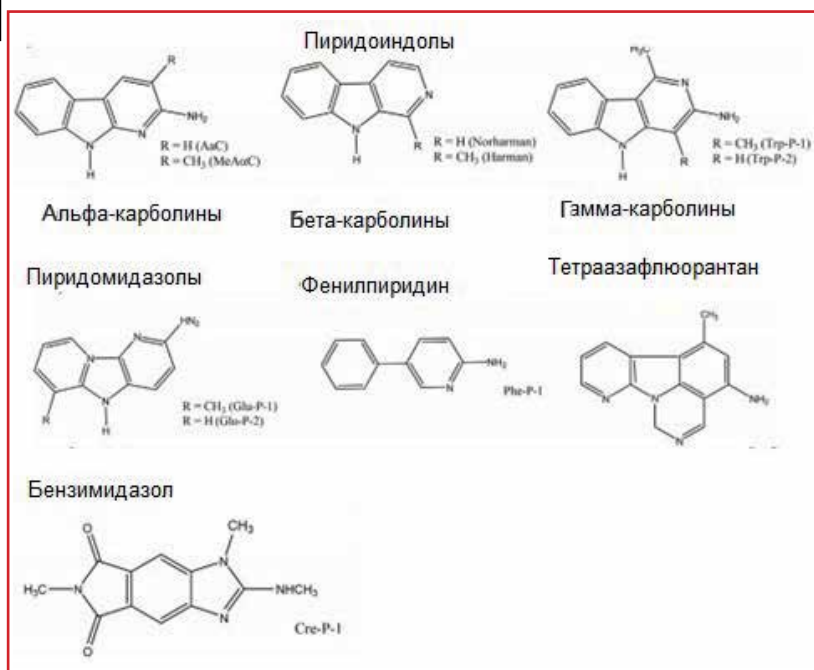
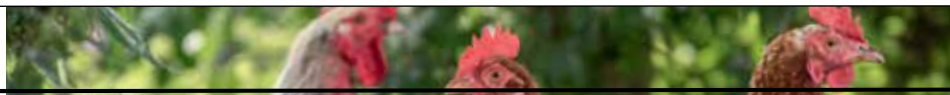


Рис. 3. Графические формулы второй группы ГАА

приготовления многих продуктов животного происхождения, включая курицу, говядину, свинину и рыбу. Мясо, приготовленное при умеренной температуре, но на гриле или жареное, может содержать значительное количество этих мутагенов [10, 11, 12]. Чем дольше мясо готовится и чем выше температура, тем больше образуется этих соединений. Исследования показали, что при приготовлении курицы-гриль обнаружены более высокие концентрации ГАА, чем в других видах мяса [5, 13].

Основные классы гетероциклических аминов включают аминоксалины или аминоксалины (все вместе называемые соединениями типа IQ) и аминоксалины, такие как PhIP. Соединения типа IQ и PhIP образуются из креатина или креатинина, аминокислот и сахаров [14]. Все мясо и рыба имеют высокое содержание креатина, вследствие чего происходит максимальное накопление ГАА при их приготовлении с использованием высоких температур (гриль или жарка). Потребление хорошо прожаренного мяса связано с повышенным риском рака молочной железы и толстой кишки [15].

Заключение

В настоящее время актуальным является проведение исследований со-

держания различных ГАА в пищевой продукции; они станут очередным блоком большой работы по изучению ксенобиотиков, попадающих в организм человека с пищей. Полученные результаты дополняют базу данных по содержанию в пищевых продуктах химических канцерогенов.

Первоочередной задачей изучения процесса накопления ГАА является выбор индикатора присутствия канцерогенов определенного типа. На основании проведенного анализа литературы с результатами исследований по содержанию ГАА в продуктах было установлено, что наиболее распространенными ГАА являются PhIP (2-амино-1-метил-6фенилимидазо[4,5b]пиридин) и MeIQx (2-амино-3,8-диметилимидазо[4,5f]хиноксалин). Данные вещества были выбраны в качестве основных маркеров для дальнейшего мониторинга количественного содержания ГАА в пищевой продукции, проводимого в рамках государственного задания на базе лаборатории научно-методических работ, биологических и аналитических исследований ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова.

Литература

1. Куликовский А.В. Комплексная оценка содержания полициклических ароматических углеводов и особенности их

накопления в мясной продукции / А.В. Куликовский, И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, А.Н. Иванкин, Н.Л. Вострикова, О.А. Кузнецова // Вопросы питания. — 2017. — Т. 86. — № 6. — С. 125–133.

2. Ferlay J. Estimated Cancer Incidence, Mortality and Prevalence Worldwide in 2012 v1.0. / J. Ferlay, I. Soerjomataram, M. Ervik et al. // IARC Cancer Base No. 11 powered by GLOBOCAN 2012.

3. Формирование научного базиса метадаанных, связанных с оценками «онко» рисков, ассоциированными с мясной продукцией / Н.Л. Вострикова, О.А. Кузнецова, А.В. Куликовский, М.Ю. Минаев // Теория и практика переработки мяса. — 2017 — № 2. — С. 96–113. — DOI: 10.21323/2414-438X-2017-2-4-96-113.

4. Creatine and Maillard reaction products as precursors of mutagenic compounds: effects of various amino acids / M. Jagerstad, A.L. Reuterswärd, R. Olsson, S. Grivas, T. Nyhammar, K. Olsson, A. Dahlqvist // Food Chemistry. — 1983. — V. 12. — №2. — P. 255–264.

5. Gibis M. Occurrence of carcinogenic heterocyclic aromatic amines in fried patties of different animal species // Proceedings of the 53th International Congress of Meat Science and Technology. — 2007. — P. 13.

6. Maite Sanz Alaejos. Factors that affect the content of heterocyclic aromatic amines in foods // Comprehensive reviews in food science and food safety. — 2011. — V. 10. — P. 52–108.

7. Jinap S. Effect of organic acid ingredients in marinades containing different types of sugar on the formation of heterocyclic amines in grilled chicken / S. Jinap, N.D.S. Hasnol, M. Sanny, M.H.A. Jahuru // Food Control. — 2018. — V. 84. — P. 478–484.

8. NTP Report on Carcinogens. Selected heterocyclic amines. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Natl. Toxicology Program. 11th Edition. — 2004. — 135 p.

9. Bruce W.R. Recent hypotheses for the origin of colon cancer // Cancer Res. — 1987. — V. 47 (16). — P. 37–42.

10. Skog K.I. Carcinogenic heterocyclic amines in model systems and cooked foods: a review on formation, occurrence, and intake / K.I. Skog, M.A.E. Johansson, M.I. Jagerstad // Food & Chem Toxicol. — 1998. — V. 36. — P. 879–896.

11. Heterocyclic amines: occurrence and prevention in cooked food / S. Robbana-Barnat, M. Rabache, E. Rialland, J. Fradin // Environ Health Perspect. — 1996. — V. 104. — P. 280–288.

12. Airborne mutagens produced by frying beef, pork and a soy-based food / H.P. Thiebaud, M.G. Knize et al. // Food & Chem Toxicol. — 1995. — V. 33(10) — P. 821–828.



13. High concentrations of the carcinogen 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo-[4,5] pyridine [PhIP] occur in chicken but are dependent on the cooking method / R. Sinha, N. Rothman, E.D. Brown et al. // Cancer Res. — 1995. — V. 55. — P. 4516–4519.

14. Jagerstad M. Formation of heterocyclic amines using model systems / M. Jagerstad, K. Skog, S. Grivas, K. Olsson // Mutat Res. — 1991. — № 259 (3–4). — P. 219–233.

15. IARC monographs of the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Some naturally occurring substances: food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins // World Health Organization. Intl. Agency for Research on Cancer. — 1993. — V. 56, Lyon.

16. Adamson R.H. Carcinogenicity of 2-amino-3-methylimidazo[4,5-f] quinoline in non-human primates: induction of tumors in three macaques / R.H. Adamson, U.P. Thorgeirsson,

E.G. Snyderwine, S.S. Thorgeirsson, J. Reeves, D.W. Dalgard, S. Takayama, T. Sugimura // Japanese Journal of Cancer Research. — 1990. — Vol. 81. — P. 10–14. □

Для контактов с авторами:
Утьянов Дмитрий Александрович
e-mail: d.utyanov@fneps.ru
Куликовский Андрей Владимирович
Вострикова Наталья Леонидовна
Кузнецова Оксана Александровна

РОСПТИЦЕСОЮЗ УСИЛИВАЕТ ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПТИЦЕВОДСТВА СТРАН ЕАЭС

1 января 2015 года вступил в силу Договор о Евразийском экономическом союзе (ЕАЭС), подписанный 29 мая 2014 года президентами России, Белоруссии и Казахстана, к которому позднее присоединились Армения и Киргизия.

Проведение согласованной единой политики требовало углубления интеграции и взаимодействия между участниками Союза, создания условий для стабильного их развития в ключевых отраслях экономики.

Принимая во внимание традиционно сложившиеся взаимоотношения и долговременную совместную работу по решению вопросов развития птицеводства в странах ЕАЭС, по инициативе Росптицесоюза 9 июля 2019 г. в Минюсте России была зарегистрирована **Ассоциация птицеводов Евразийского экономического союза**, в состав которой на данном этапе вошли отраслевые союзы России, Белоруссии и Казахстана.

(По материалам Росптицесоюза)

Международный Центр стандартизации и сертификации «Халяль» Совета муфтиев России

129090 г. Москва,
Выползов переулок,
д.7, стр.2, оф. 305

тел.: +7 (495) 926-03-10
e-mail: info@halalcenter.ru
www.halalcenter.ru

Международный Центр стандартизации и сертификации "Халяль" предоставляет услуги по сертификации, внедрению стандартов "Халяль", надзору и контролю производства продукции "Халяль"

На сегодняшний день сертифицировано более 200 российских и зарубежных компаний, более 20 из которых вывели свою продукцию на экспорт в страны мусульманского мира

МЦСиС "Халяль" является членом World Halal Council.
 Совместное предприятие "Галфтик-МЦСиС "Халяль" (Gulftic-ICSC Halal) аккредитовано в Управлении по стандартизации и метрологии Объединённых Арабских Эмиратов (ESMA) и Центре Аккредитации стран Залива в Королевстве Саудовская Аравия (GAC)

Халяль - Вера, Разум, Безопасность

View publication stats