

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 664

Регламентирование содержания контаминанта акриламида в пищевой продукции

Антонида Викторовна Чернова¹, Анастасия Вячеславовна Петроченкова²

^{1,2}Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

¹ Chernova.av@dgtru.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8143-7228>

² nastya-petrochenkova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0520-3045>

Аннотация. В Российской Федерации постоянно совершенствуется система токсиколого-гигиенической оценки и контроля химических контаминантов пищевой продукции за счет использования новых методов их анализа и получения актуальных научных данных и заключений по обоснованию допустимых уровней их содержания. Из-за отсутствия контролируемых норм содержания в пищевых продуктах канцерогена акриламида существует острая необходимость разработки и внедрения методики достоверного количественного определения и контроля его содержания в пищевых продуктах со сложным компонентным составом, которая может быть использована в практике испытательных лабораторий. Рассмотрены закономерности появления акриламида в пищевых продуктах и установлены механизмы его влияния на здоровье человека при потреблении. Также описаны и проанализированы существующие методы контроля акриламида в пищевых продуктах (метод газовой хроматографии – масс-спектрометрии и метод жидкостной хроматографии и тандемной масс-спектрометрии) и разработан проект рекомендаций по регламентированию акриламида в пищевых продуктах.

Ключевые слова: акриламид, контаминация, канцероген, пищевая продукция, безопасность, метод, органическое соединение, рекомендации

Для цитирования: Чернова А.В., Петроченкова А.В. Регламентирование содержания контаминанта акриламида в пищевой продукции // Научные труды Дальрыбвтуза. 2023. Т. 63, № 1. С. 20–27.

FOOD SYSTEMS

Original article

Regulation of the content of the contaminant acrylamide in food products

Antonida V. Chernova¹, Anastasia V. Petrochenkova²

^{1,2}Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

¹ Chernova.av@dgtru.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8143-7228>

² nastya-petrochenkova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0520-3045>

Abstract. In the Russian Federation, the system of toxicological and hygienic assessment and control of chemical contaminants in food products is constantly being improved through the use of new methods for their analysis and obtaining up-to-date scientific data and conclusions to justify the permissible levels of their content. Due to the lack of controlled standards for the content of the carcinogen acrylamide in foods, there is an urgent need to develop and implement a method for reliable quantitative determination and control of its content in foods with a complex component composition, which can be used in the practice of testing laboratories. The article examined the regularities of the appearance of acrylamide in food products and established the mechanisms of its effect on human health when consumed. The existing methods for the control of acrylamide in food products (gas chromatography-mass spectrometry method and liquid chromatography and tandem mass spectrometry method) are also described and analyzed, and draft recommendations on the regulation of acrylamide in food products have been developed.

Keywords: acrylamide, contamination, carcinogen, food products, safety, method, organic compound, recommendations

For citation: Chernova A.V., Petrochenkova A.V. Regulation of the content of the contaminant acrylamide in food products. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2023; 63(1):20–27. (in Russ.).

Введение

Стратегической задачей в области обеспечения населения безопасной пищевой продукцией является повышение ее качества и развитие производства с учетом обязательного нормирования вредных веществ. Наибольшую опасность для здоровья потребителей представляют природные загрязнители и химические токсины.

Регламентирование контаминантов в пищевой продукции является важной задачей для всех стран. В Российской Федерации показатели безопасности закреплены в техническом регламенте Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и в сопутствующих технических регламентах на пищевую продукцию, что дает возможность их контроля, а также минимизации и сокращения общественно опасных последствий.

Современные потребители отдают предпочтение пищевой продукции без содержания различного рода пищевых добавок, забывая о входящих в ее состав естественных химических соединениях, которые под воздействием высоких температур и комбинации с другими элементами и веществами могут трансформироваться и переходить в разряд опасных для человека. Так, с точки зрения безопасности в ряде зарубежных стран все большее значение приобретает такое химическое соединение, содержащееся в пищевых продуктах, как акриламид (АА). В России данный показатель не нормируется и, соответственно, не контролируется, а также не установлен допустимый уровень его безопасного ежедневного потребления.

Целью данной работы является разработка проекта рекомендаций по нормированию акриламида в пищевой продукции, обеспечивающего ее безопасность для здоровья потребителей.

Задачи исследований:

- установить закономерности появления акриламида в пищевых продуктах;
- изучить влияние акриламида на здоровье человека;
- дать анализ методам определения акриламида в пищевых продуктах;
- разработать проект рекомендаций по регламентированию акриламида в пищевых продуктах.

Результаты и их обсуждение

Акриламид считается канцерогенным соединением, которое может образовываться в результате приготовления определенных продуктов, особенно продуктов растительного проис-

хождения, богатых углеводами и с низким содержанием белка, при высоких температурах (выше 120 °С) (жарка, выпечка, приготовление на гриле). При кипячении и приготовлении на пару он обычно не образуется. В основном АА обнаруживается в картофельных (картофельные чипсы, картофель фри) и зерновых (хлеб, печенье, сухие завтраки) продуктах, в кофе. Также при проведении исследований он был обнаружен в низких концентрациях в продуктах животного происхождения (мясо, рыба), молочной продукции (таблица) [1].

Содержание акриламида в пищевой продукции

The content of acrylamide in food products

Пищевая продукция	Содержание акриламида, мкг/кг
Картофель фри и картофель жареный	20–12000
Чипсы (картофельные)	170–3700
Сухари	30–3200
Мюсли, сухие завтраки	30–1346
Какао-продукция	50–500
Масло арахисовое	64–457
Тосты, хлеб, хлебцы, печенье	70–430
Чипсы (кукурузные)	34–416
Кофейный порошок	170–351
Миндаль жареный	260
Шоколадная продукция	75
Пиво	30–70
Семечки жареные	66
Мясо	30–64
Детское питание	41
Рыбная продукция	30–39

Согласно установленным данным наибольшее количество акриламида попадает в организм человека с хлебом (60–80 %), печеньем и крекерами (5–12 %), жареным картофелем (до 8 %), картофельными и кукурузными чипсами (около 5 %), так как именно эти продукты больше всего потребляются за день [6].

Акриламид не поступает в пищевую продукцию из упаковки или окружающей среды, а в основном образуется в результате взаимодействия аспарагина (свободной аминокислоты) с редуцирующими сахарами (глюкозой и фруктозой) в рамках реакции Майяра. Также может синтезироваться при термическом распаде жиров под влиянием высоких температур. В результате происходит образование акролеина, который при дальнейших химических реакциях приводит к возникновению акриламида [2].

Акриламид, всасываясь из желудочно-кишечного тракта, распределяется по всем органам и интенсивно метаболизируется. Биологически активный метаболит акриламида, глицидаид, является наиболее вероятной причиной генных мутаций и опухолей, наблюдаемых в научных исследованиях.

Акриламид в пище присутствует уже давно, с тех пор как человек начал термически обрабатывать пищу. В 2002 г. группа европейских ученых опубликовала результаты исследования, выявившего наличие акриламида в некоторых печеных и жареных блюдах. До этого момента подобных исследований никто не проводил, так как вещество не является кулинарным ингредиентом, и никто не предполагал, что оно может содержаться в продуктах. Ученые провели исследования, в результате которых было выяснено, что акриламид в слишком вы-

соких концентрациях может влиять на здоровье и оказывать канцерогенный эффект, как правило, на репродуктивную систему (через кровеносную систему может попадать в плод беременной женщины, а также накапливаться в грудном молоке) [8].

Акриламид метаболизируется в печени и в больших дозах воздействует на нервную систему человека, вызывая ее повреждение, обладает острой нейротоксичностью (провоцирует судороги, нарушение координации), оказывает влияние на структурное изменение генов (возникновение мутаций).

В дальнейшем наличие АА в пищевых продуктах было подтверждено проведенными исследованиями Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) совместно с Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), которые провели консультацию о содержании и влиянии акриламида. В качестве последующих мер было создано международными организациями плана для проведения исследований по акриламиду с целью его детальной оценки, лучшего понимания воздействия на человека и возможных последствий для здоровья. Токсичность АА была оценена Международным агентством по изучению рака (МАИР), по результатам которого было установлено, что безопасное потребление составляет 1 мкг на 1 кг массы тела в сутки. Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов (EFSA) провело оценку акриламида и здоровья человека, и уже в 2014 г. опубликовало инфографик об акриламиде в пищевых продуктах с целью повышения осведомленности об этой проблеме, а в 2015 г. была опубликована полная оценка риска содержания акриламида в пищевых продуктах [3].

Управление по контролю за продуктами и лекарствами США (FDA) в настоящее время разрабатывает руководство для промышленности по снижению уровня акриламида в пищевых продуктах. FDA также регулирует количество акриламида в различных материалах, которые вступают в контакт с пищевыми продуктами. Агентство по охране окружающей среды США (EPA) регулирует содержание акриламида в питьевой воде.

Мировые ученые сосредоточились на исследовании различных последствий канцерогена АА для здоровья из-за его высокой токсичности. Уровень токсичности зависит от времени воздействия и дозы.

Пищевые продукты, не подвергающиеся воздействию высоких температур, не содержат значительного количества акриламида. Объединенный комитет ФАО и ВОЗ пришел к выводу, что среднее потребление акриламида (1 мкг на 1 кг массы тела в сутки) не представляет серьезной угрозы для здоровья населения. Однако у людей с высоким уровнем потребления акриламида (4 мкг на 1 кг массы тела в сутки) существует возможность развития токсических эффектов и различных форм рака. Проблема оказалась настолько серьезной, что Комиссия Кодекс Алиментариус разработала рекомендации по снижению содержания акриламида в пищевых продуктах, приготовляемых из картофеля и зерновых культур (CAC/RCP 67-2009).

В Европе уже запущена программа, которая подразумевает снижение содержания акриламида в пищевой продукции за счет разработки и внедрения новых методов приготовления пищи:

1. Снижение температуры приготовления пищевых продуктов с высоким содержанием углеводов. Для подтверждения данного метода картофель фри обжаривали при низкой температуре. По результатам проведенных исследований измерения содержания акриламида в таком картофеле было установлено уменьшение уровня АА с 3500 мкг/кг до 500 мкг/кг.

2. Добавление специальных ферментов во время выпечки. Ферменты вступают в связь с аминокислотой и тем самым не дают ей вступать в реакцию с сахарами. В результате наблюдается снижение уровня акриламида.

Для контроля пищевой продукции на наличие акриламида в 2017 г. разработан немецкий стандарт DIN CEN/TS 17083-2017 «Пищевые продукты. Определение акриламида в пищевых продуктах и кофе методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии (ГХ-МС). Немецкая версия CEN/TS 17083:2017».

Также в 2019 г. разработан стандарт Республики Беларусь – ГОСТ EN 16618-2019 «Анализ пищевой продукции. Определение содержания акриламида в пищевой продукции методом жидкостной хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией с ионизацией электроспреем», который устанавливает метод определения акриламида в хлебобулочных изделиях, а также в продуктах из картофеля и в жареном кофе с применением ЖХ-МС/МС-ИЭС.

На сегодняшний день в Российской Федерации отсутствуют утвержденные методики определения акриламида в пищевых продуктах. Его максимально допустимое содержание в пищевой продукции также не регламентировано. В связи с этим требуется разработка методик по идентификации и количественному определению акриламида в различных видах пищевых продуктов, а также установлению гигиенических нормативов по его содержанию в технических регламентах ЕАЭС.

С аналитической точки зрения обнаружение и определение акриламида сопряжено с трудностями, связанными с относительно длительным периодом обнаружения и низкой доступностью аналитических методов.

Раньше для анализа акриламида применялся адсорбционно-фотометрический метод определения. После того как было установлено, что данный метод не является селективным и не позволяет точно установить содержание акриламида в широком ассортименте пищевых продуктов, его использование свелось к минимуму [7].

Для определения содержания акриламида существуют различные аналитические подходы. Чаще всего используют метод газовой хроматографии (ГХ) и метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), который может быть основан на УФ-детектировании или масс-спектрометрии.

В последние годы для анализа чаще всего применяют масс-спектрометрию. В пищевой промышленности основными методами определения акриламида являются метод газовой хроматографии – масс-спектрометрии (ГХ-МС) и метод жидкостной хроматографии и тандемной масс-спектрометрии (ЖХ-МС).

Метод ГХ-МС позволяет высокоэффективно разделить компоненты различных смесей в газовой фазе и идентифицировать их известные и неизвестные составляющие. Метод предполагает бромирование акриламида до 2,3-дибромпропанамида, его превращение в 2-бромпропенамид и детектирование [1]. Чаще используется для определения содержания акриламида в воде и пищевых продуктах, таких как картофельные, кукурузные чипсы, печенье, крекеры и т.д. Основными преимуществами данного метода являются надежность и универсальность использования.

На сегодняшний день метод ЖХ-МС является наиболее достоверным аналитическим методом для измерения содержания акриламида в пищевой промышленности (чаще всего в обжаренном кофе и чипсах), учитывая присущую ему чувствительность в отношении исследуемых компонентов и селективность. Метод также обладает высокой пропускной способностью, однако является дорогостоящим в сравнении с ГХ-МС, требует сложной дериватизации и тщательной подготовки персонала [4, 5].

Заключение

В настоящее время в Российской Федерации разработаны и закреплены на законодательном уровне принципы нормирования, гигиенические нормативы и методы выявления и количественного определения приоритетных загрязнителей пищевых продуктов химической природы. В то же время, проводя исследования в этой области, постоянно возникают новые задачи и проблемы, требующие решения. С одной стороны, они связаны с прогрессом самого научного познания, сопровождающегося выявлением неизвестных ранее химических факторов, вредных для здоровья человека. С другой стороны, новые вызовы в области химической безопасности пищевых продуктов возникают в связи с развитием технологий, появлением

новых источников питательных веществ и способов технологической обработки пищевых продуктов, что наряду со многими преимуществами создает потенциально новые риски для здоровья человека.

В этих условиях важно постоянно оценивать риски контаминации пищевой продукции на основе идентификации биомаркеров с использованием методов метаболомики, геномики, токсикологических исследований, а также имеющихся научных данных, или пересмотр допустимых суточных доз или максимально допустимых уровней их содержания в различных продуктах питания.

Акриламид в значительном количестве содержится в продуктах, которые являются частью наших пищевых привычек. Ежедневное потребление продукции, содержащей высокий уровень акриламида, неизбежно приведет к отрицательным последствиям для человека. Тот факт, что акриламид склонен вступать в реакцию с ДНК и РНК, также указывает на возможность возникновения различных проблем со здоровьем.

Многочисленные зарубежные исследования доказали, что АА оказывает значительное влияние на физиологические функции, включая распространение сигналов в периферических нервах, ферментативную и гормональную регуляцию, функции мышц, репродуктивную систему и т.д.

Поэтому для контроля и последующей минимизации содержания акриламида в пищевых продуктах необходимо подобрать соответствующие методы измерения его содержания и внедрить технологические решения для снижения его образования при термической обработке.

Основными методами определения акриламида в пищевых продуктах являются метод газовой хроматографии – масс-спектрометрии (ГХ-МС) и метод жидкостной хроматографии и тандемной масс-спектрометрии (ЖХ-МС).

ГХ-МС является предпочтительным методом с точки зрения затрат и простоты эксплуатации. ЖХ-МС – наиболее точный метод, который гарантирует получение надежных и достоверных результатов определения акриламида. Также данный метод обладает непревзойденной чувствительностью и универсальностью, что, в свою очередь, позволяет вести работы в широком спектре образцов пищевой продукции.

Несмотря на установленные преимущества, оба метода требуют достаточно сложной дополнительной подготовки образцов и использования дорогостоящего оборудования, что в значительной степени может ограничивать их применение.

По сей день не обнаружено идеального метода определения акриламида в пищевой продукции, который бы одновременно отвечал требованиям универсальности, точности и экономичности. Существует острая необходимость в разработке более надежного, чувствительного и дешевого метода определения акриламида.

В России не установлены и, соответственно, не контролируются нормы содержания акриламида в пищевых продуктах. Поэтому для обеспечения безопасности пищевой продукции необходимо взять под контроль данный вопрос. Полное исключение акриламида из продовольственных товаров практически невозможно и по-прежнему остается серьезной проблемой, однако его воздействие можно свести к минимуму, приняв соответствующие меры нормативного регулирования.

Главной целью, стоящей перед государством, является внесение в установленном порядке изменений в ТР ТС 021/2011 в части установления допустимого уровня содержания акриламида в пищевой продукции. Данная цель может быть реализована за счет решения следующих задач:

- провести изучение растительного сырья на наличие факторов, влияющих на появление акриламида в процессе термической обработки;

- разработать и внедрить технологические решения, способствующие снижению образования акриламида при термической обработке в пищевой продукции;
- утвердить стандартизированный метод измерения акриламида для испытательных лабораторий.

Только эти меры обеспечат обращение на рынке пищевой продукции надлежащего качества и, как следствие, увеличение продолжительности и повышение качества жизни населения.

Список источников

1. Никитенко А.Н., Ламоткин С.А., Найдюк О.М., Бусуматорова А.В. Исследование содержания акриламида в чипсах // Тр. БГТУ. 2018. № 1. С. 26–30.
2. Акриламид [Электронный ресурс]. <https://onedieta.ru/health/akrilamid.html> (дата обращения: 01.01.2023).
3. Дыдыкин А.С., Деревицкая О.К. Безопасность продуктов детского питания, подвергаемых высокотемпературной обработке // Пищ. пром-сть. 2018. № 3. С. 58–59.
4. Куликовский А.В., Вострикова Н.Л., Кузнецова О.А., Семенова А.А., Иванкин А.Н. Аналитический контроль пищевых систем на содержание акриламида методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием // Аналитика и контроль. 2019. № 3. С. 393–400.
5. Mastovska K., Lehotay S.J. Rapid Sample Preparation Method for LC–MS/MS or GC–MS Analysis of Acrylamide in Various Food Matrices // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006. № 19. P. 7001–7008.
6. Michalak J., Gujska E., Czarnowska M. Study on the acrylamide content in selected groups of food products // Towaroznawcze problemy jakosci. 2014. № 4(41). P. 60–65.
7. Lim H.H., Shin H.S. A new derivatization approach for the sensitive and simple analysis of acrylamide and liquid chromatography // Journal of Chromatography A. 2014. № 9. P. 117–124.
8. Роскачество. Исследование сухих завтраков [Электронный ресурс]. <https://rskrf.ru/ratings/produkty-pitaniya/bakaleya/sukhie-zavtraki/> (дата обращения: 07.01.2023).

References

1. Nikitenko A.N., Lamotkin S.A., Naydyuk O.M., Busumatorova A.V. Study of the content of acrylamide in chips // Proceedings of BSTU. 2018. № 1. S. 26–30.
2. Acrylamide [Electronic resource]. <https://onedieta.ru/health/akrilamid.html> (date of access: 01/01/2023).
3. Dydykin A.S., Derevitskaya O.K. Safety of baby food products subjected to high-temperature processing // Food industry. 2018. № 3. S. 58–59.
4. Kulikovskiy A.V., Vostrikova N.L., Kuznetsova O.A., Semenova A.A., Ivankin A.N. Analytical control of food systems for acrylamide content by high performance liquid chromatography with mass spectrometric detection // Analytics and control. 2019. № 3. S. 393–400.
5. Mastovska K., Lehotay S.J. Rapid Sample Preparation Method for LC–MS/MS or GC–MS Analysis of Acrylamide in Various Food Matrices // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006. № 19. P. 7001–7008.
6. Michalak J., Gujska E., Czarnowska M. Study on the acrylamide content in selected groups of food products // Towaroznawcze problemy jakosci. 2014. № 4(41). P. 60–65.
7. Lim H.H., Shin H.S. A new derivatization approach for the sensitive and simple analysis of acrylamide and liquid chromatography // Journal of Chromatography A. 2014. № 9. P. 117–124.
8. Roskachestvo. Research of dry breakfasts [Electronic resource]. <https://rskrf.ru/ratings/produkty-pitaniya/bakaleya/sukhie-zavtraki/> (date of access: 01/07/2023).

Информация об авторах

А.В. Чернова – старший преподаватель кафедры «Управление техническими системами»;
А.В. Петроченкова – студент.

Information about the authors

A.V. Chernova – Senior Lecturer of the Department of Technical Systems Management;
A.V. Petrochenkova – student.

Статья поступила в редакцию 30.01.2023, одобрена после рецензирования 17.03.2023,
принята к публикации 22.03.2023.

The article was submitted 30.01.2023, approved after reviewing 17.03.2023, accepted for publication 22.03.2023.