

УДК 664:543.632.514.64

А. Н. Никитенко¹, С. А. Ламоткин¹, О. М. Найдюк², А. В. Бусуматорова²¹Белорусский государственный технологический университет²Институт мясо-молочной промышленности**ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АКРИЛАМИДА В ЧИПСАХ**

В статье дана токсико-гигиеническая характеристика акриламида. Рассмотрены пути попадания и факторы образования акриламида в пищевых продуктах. Проанализированы результаты определения содержания акриламида в продовольственном сырье и пищевых продуктах. Проведен анализ методов определения акриламида. Объектами исследования были чипсы из картофеля и яблок, реализуемые в торговле Республики Беларусь. В образцах определено содержание акриламида методом газовой хроматографии. Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что высокое содержание акриламида (более 1200 мкг/кг) было в образцах чипсов из картофеля, изготовленных путем обжарки в масле. В остальных образцах картофельных и яблочных чипсов количество акриламида не превысило критического уровня. Исследования по изучению количества акриламида в картофельных и яблочных чипсах дополняют сведения о пищевой продукции, реализуемой в Республике Беларусь.

Ключевые слова: акриламид, методика, чипсы яблочные, чипсы из картофеля, метод газовой хроматографии.

A. N. Nikitenko¹, S. A. Lamotkin¹, O. M. Najduik², A. V. Busumatorova²¹Belarusian State Technological University²Institute of Meat and Dairy Industry**STUDY OF ACRYLAMIDE CONTENT IN CHIPS**

The article gives a toxic-hygienic characteristic of acrylamide. The ways of penetration and factors of acrylamide formation in food products are considered. The results of the determination of the content of acrylamide in food raw materials and food products are analyzed. The analysis of methods for the determination of acrylamide is carried out. The research subjects were potato and apples chips sold in the trade of the Republic of Belarus. The samples contain the acrylamide content by gas chromatography. Experimental studies made it possible to establish that a high content of acrylamide (more than 1200 µg/kg) was in samples of potato chips made by roasting in oil. In the remaining samples of potato and apple chips, the amount of acrylamide did not exceed the critical level. Research to study the amount of acrylamide in potato and apple chips will supplement information on food products sold in the Republic of Belarus.

Key words: acrylamide, methods, apple chips, potato chips, gas chromatography method.

Введение. Здоровье человека тесно связано с качеством и безопасностью продуктов питания. Поэтому промышленное производство пищи направлено на недопущение вероятного возникновения опасностей и недопустимого риска для людей, как от исходного сырья, материалов, вспомогательных компонентов, так и несоблюдения технологического процесса изготовления продукции, а также других условий на всех этапах жизненного цикла. Направленность процессов термической обработки заключается в обеспечении безопасности пищевых продуктов в течение установленного срока годности. Вместе с тем, воздействие технологических факторов может стать источником возникновения токсичных компонентов в пище.

В 2002 г. Национальным управлением продовольствия Швеции, а в 2003 г. Управлением по контролю за продуктами и лекарствами США (FDA) представлены данные о высоком

содержании акриламида в сухих завтраках, печенье, сухариках, картофеле-фри, картофельных и кукурузных чипсах, хлебе, тостах, термически обработанном кофе, миндале. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), содержание акриламида в пищевых продуктах может составлять от нескольких десятков микрограмм на килограмм (хлеб) до тысяч микрограмм на килограмм (чипсы) [1]. Известно, что акриламид – мутаген, способствующий развитию ряда заболеваний. При любом пути поступления в организм человека акриламид и его производные действуют на нервную систему как нейротоксин, нарушающий координацию движений, вызывающий атаксию, судороги. Акриламид – канцерогенное соединение, стимулирующее рост опухолевых клеток, негативно влияющее на мужскую и женскую фертильность, функцию печени и почек, внутриутробное и дальнейшее развитие ребенка [2].

Одной из причин высокого содержания акриламида в приготовленных пищевых продуктах считается присутствие его в воде на уровне, во многом превышающем допустимый. Это объяснение базируется на использовании флокулянтов на основе акриламида для очистки воды, химической обработки осадков, а также их широкого использования во многих отраслях промышленности (целлюлозно-бумажной, косметической, текстильной) [3]. Наряду с этим, существует предположение об образовании акриламида в результате реакции Майяра при нагревании аминокислот и сахаров [2].

ВОЗ и Научный комитет по продовольствию (SCF) Европейского Союза подтвердили озабоченность по факту выявления акриламида в ряде пищевых продуктов. Контролирующие органы Канады и США официально внесли акриламид в список токсичных веществ продуктов питания [1].

Распространенность снеков (продуктов для быстрого и легкого утоления голода, закусок, употребление которых происходит между делом, на ходу [4]), стабильность их доли в международном торговом обороте продовольствия, расширение ассортимента данной продукции, как в Республике Беларусь (РБ), так и в странах Евразийского Экономического Союза, обуславливает необходимость обеспечения безопасности данной продукции для разных групп людей, особенно детей.

Самым популярным видом снеков являются чипсы. Традиционно чипсы изготавливают из свежего картофеля либо пеллет (заготовок из картофельной и других видов муки в смеси с другими компонентами). Несмотря на высокий спрос, альтернативой картофельному сырью является использование фруктов, в первую очередь яблок, для изготовления чипсов [5].

Производство продуктов на основе картофеля и яблок является одним из направлений пищевой перерабатывающей промышленности Республики Беларусь.

В стране установлена предельно допустимая концентрация акриламида в питьевой воде [6]. Норматива по содержанию акриламида в снеках и другой пищевой продукции нет. Вероятно, это связано с малочисленностью данных по содержанию акриламида в пищевых продуктах, технологии производства которых освоены в Республике Беларусь, или реализуемых торговых стран.

Основная часть. Характеристика акриламида (амида акриловой кислоты, 2-пропенамида, $\text{CH}_2=\text{CHC}(\text{O})\text{NH}_2$) представлена в табл. 1.

Химические свойства акриламида положены в основу аналитических подходов к измерению его содержания. Используется колоримет-

рический метод определения количества акриламида. Соединение реагирует с диазометаном в растворе метанол-эфир с образованием производного пиразолина, который далее вступает в реакцию с 4-диметилциннамальдегидом с образованием светло-пурпурного комплекса Шиффового основания. Однако эта реакция не специфична и, кроме акриламида, аналогичное окрашивание могут также давать другие органические соединения.

Таблица 1
Химические свойства акриламида [7]

Молекулярная масса	71,08
Температура плавления	84,5°C
Плотность, d_4^{30}	1,122
Давление пара	0,93 Па (25°C) 9,3 Па (50°C)
Растворимость (г на 100 г растворителя, °C)	211,5 (вода) 155,0 (метанол) 86,2 (этанол) 63,1 (ацетон)
Температура кипения	125°C/25 мм рт. ст.

Газохроматографическое (ГХ) определение акриламида традиционно основано на получении 2,3-дибромпропионамида и последующем его детектировании с помощью детектора по захвату электронов или пламенно-ионизационного детектора [8, 9].

Для исследования количества акриламида также применяется метод высокоэффективной жидкостной хроматографии, который обладает хорошей чувствительностью и основан либо на УФ-детектировании, либо совместном применении масспектрометрии. Методы разделения на основе жидкостной хроматографии исключают необходимость получения производных акриламида, но являются дорогостоящими [10].

Однако не все из вышеперечисленных методов используются при определении содержания акриламида в пищевых продуктах. В частности переводение акриламида в бромпроизводные имеет ряд сложностей, которые заключаются в длительной пробоподготовке, множественности идентифицируемых производных и отсутствии безопасности для оператора. Поэтому весьма перспективным является использование ГХ метода без дериватизации акриламида.

Целью работы было исследовать содержание акриламида в чипсах. Объектами исследования стали образцы картофельных чипсов, реализуемых в торговой сети г. Минска. Также испытаниям подвергались чипсы из яблок, полученные в результате гидротермической обработки сырья при температуре $(75 \pm 5)^\circ\text{C}$, 3–5 мин и высушивания при температуре не выше 120°C .

Таблица 2

Характеристика объектов исследования

Шифр образца	Идентификационные признаки	Страна-производитель
1	Чипсы из картофеля, изготовленные путем обжарки в масле; цвет: от светло-желтого до желтого, равномерный; форма: овальная, продолговатая	РФ
2	Чипсы на основе картофеля, пеллеты, изготовленные путем обжарки в печи; цвет: светло-желтый, равномерный; форма: прямоугольная	РБ
3	Чипсы из натурального картофеля, изготовленные путем обжарки в масле; цвет: от светло-желтого до темно-желтого, вкрапления подгарков; форма: овальная, продолговатая	РФ
4	Чипсы на основе картофеля, пеллеты, изготовленные обжаркой в масле; цвет: светло-желтый, равномерный; форма: соломка	РБ
5	Чипсы из яблок, изготовленные из пюре	РБ
6	Чипсы из яблок	РБ

Исследовали также образцы на основе яблочного пюре, в состав которых в количестве не более 10% вводили муку пшеничную высшего сорта марки М54-28 (СТБ 1666), крахмал картофельный высшего сорта (ГОСТ 7699). Чипсы на основе яблок были высушены до влажности, не превышающей 12%. Характеристика объектов исследования приведена в табл. 2.

Исследование содержания акриламида в чипсах проводили в следующей последовательности. Образцы измельчали до однородной массы, добавляли воду в соотношении 1:3 и оставляли на водяной бане при температуре 70°C в течение 30 мин. Далее смесь тщательно смешивали с 1-пропанолом, фильтровали, полученный фильтрат центрифугировали при скорости не менее 2000 об/мин 15 мин. К 10 см³ надосадочной жидкости добавляли 200 мг растительного масла. Воду и 1-пропанол удаляли на ротормном испарителе при давлении около 50 мм рт. ст. и температуре 60–70°C, длительность испарения не превышала 4–5 мин. Остаток от испарения перемешивали с ацетонитрилом и гексаном. Фазу ацетонитрила отделяли и повторно несколько раз экстрагировали гексаном.

Анализ полученного экстракта осуществляли на газовом хроматографе «Хроматэк Кристалл 5000» с капиллярной колонкой, заполненной цианопропилфенилполисилоксаном. Длина колонки составляла 100 м, диаметр – 0,25 мм. В качестве газа-носителя использовали азот. Объем вводимой пробы – 1 мкл. Условия хроматографирования следующие: изотермический режим при 140°C в течение 4 мин, затем программированный подъем температуры со скоростью 3°C/мин до температуры 180°C. Изотермический режим при данной температуре поддерживали в течение 40 мин. После чего

снова следовал программированный подъем температуры со скоростью 3°C/мин до 240°C. Все результаты получены в условиях повторяемости (лаборатория, исследователь, оборудование и реагенты, испытания в течение одного временного интервала). В качестве внутреннего стандарта использовали ацетонитрил. Идентификацию пиков осуществляли по времени удерживания, которое для ацетонитрила составило 18,5 мин, акриламида – 52,5 мин.

В результате проведенных исследований акриламид обнаружен в образцах картофельных чипсов из натурального картофеля, полученных путем обжарки в масле, произведенных на территории Российской Федерации (образец № 3). Количество определенного акриламида составило (1260 ± 40) мкг/кг сухого вещества. Во всех остальных исследуемых продуктах акриламид содержался в количестве, не превышающем 40 мкг/кг.

Учитывая, что содержание акриламида в воде для изготовления пищевых продуктов не должно превышать предельно допустимой концентрации, можно предположить, что появление акриламида связано с образованием его в процессе производства.

Это подтверждает высказанное ранее предположение об образовании соединения из аспарагиновой кислоты и сахарозы при продолжительном воздействии температуры. Производство чипсов из яблок рассмотренными способами не способствует образованию акриламида.

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования позволили установить высокое содержание акриламида в образцах чипсов из картофеля, изготовленных путем обжарки в масле, что указывает на необходимость привлечения пристального внимания к контролю акриламида. Особенно потому, что такая

продукция входит в набор регулярно употребляемых продуктов людей многих возрастных групп, особенно детей и подростков. Исследования в данном направлении способствуют сбору статистических результатов для разра-

ботки методики определения содержания акриламида в пищевых продуктах. Методика необходима для контроля качества и безопасности ряда пищевых продуктов на содержание рассмотренного токсиканта.

Литература

1. Swedish researchers report acrylamide found in starchy foods // *Chemical & Engineering News*. 2002. P. 38.
2. Всемирная организация здравоохранения. Акриламид, содержащийся в пищевых продуктах, представляет потенциальную угрозу для здоровья: информационная записка ИНФОСАН // Всемирная организация здравоохранения. 2005. № 2/2005.
3. Lipp D., Kozakiewicz J. Acrylamide polymers. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol. 1. NY: 4 Molyneux, 1991. P. 66–87.
4. Обзор рынка сэнгов / Консалтинговое агентство «Market Advice» // *Пищевая промышленность*. 2002. № 2. С. 14–19.
5. Никитенко А. Н. Технология чипсов из яблок, районированных на территории Республики Беларусь: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / А. Н. Никитенко; Могилев. гос. ун-т продовольствия. Могилев, 2014. 27 с.
6. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: СанПиН 10-124 РБ 99: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Респ. Беларусь 19.10.1999. № 46 [Электронный ресурс]. URL: http://minzdrav.gov.by/ru/static/acts/tehnicheskie/teksty/voda_vodosnabjenie. (дата обращения: 05.10.2017).
7. Рабинович В. А. Краткий химический справочник. Л.: Химия, 1980. 398 с.
8. Методика выполнения измерений концентраций акриламида в питьевой воде методом газожидкостной хроматографии: МВИ.МН 4550-2012. Минск, 2012. 27 с.
9. Jezussek M., Schieberile P. Methods for determination of acrylamide in food // *J. Agric. Chem.* 2003. Vol. 51(27). P. 7866–7871.
10. Rosén J., Hellenäs K. Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry // *Analyst*. 2002. Vol. 127. P. 800–802.

References

1. Swedish researchers report acrylamide found in starchy foods. *Chemical & Engineering News*, 2002, p. 38.
2. Acrylamide contained in food represents a potential health hazard: information note INFOSAN. *Vsemirnaya organizatsiya zdavookhraneniya* [World Health Organization], 2005, no. 2/2005.
3. Lipp D., Kozakiewicz J. Acrylamide polymers. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol. 1. NY, Molyneux, 1991. P. 66–87.
4. Snack Market Overview. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], 2002, no. 2, pp. 14–19.
5. Nikitenko A. N. *Tekhnologiya chipsov iz yablok, rayonirovannykh na territorii Respubliki Belarus': Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Technology of chips from apples, zoned on the territory of the Republic of Belarus. Abstract of thesis cand. of tech. sci.]. Mogilev, 2014. 27 p.
6. SanPiN 10-124 RB 99. Drinking water and water supply of populated areas. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Available at: http://minzdrav.gov.by/ru/static/acts/tehnicheskie/teksty/voda_vodosnabjenie (accessed 05.10.2017).
7. Rabinovich V. A. *Kratkiy khimicheskiy spravochnik* [A Brief Chemical Handbook]. Leningrad, Khimia Publ., 1980. 398 p.
8. MVI.MN 4550-2012. Methods for performing measurements of acrylamide concentrations in drinking water by the method of gas-liquid chromatography. Minsk, 2012. 27 p.
9. Jezussek M., Schieberile P. Methods for determination of acrylamide in food. *J. Agric. Chem.*, 2003, no. 51(27), pp. 7866–7871.
10. Rosén J., Hellenäs K. Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Analyst*, 2002, vol. 127, pp. 800–802.

Информация об авторах

Никитенко Анастасия Николаевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный

технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dennast9@mail.ru

Ламоткин Сергей Александрович – кандидат химических наук, доцент кафедры физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: jossby@rambler.ru

Найдюк Ольга Марьяновна – младший научный сотрудник. Институт мясо-молочной промышленности (220075, г. Минск, пр-т Партизанский, 172, Республика Беларусь). E-mail: naj-olga@yandex.by

Бусуматорова Алина Викторовна – младший научный сотрудник. Институт мясо-молочной промышленности (220075, г. Минск, пр-т Партизанский, 172, Республика Беларусь). E-mail: alina.shaporeva95@mail.ru

Information about the authors

Nikitenko Anastasiya Nikolaevna – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Physical and Chemical Methods for Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dennast9@mail.ru

Lamotkin Sergey Aleksandrovich – PhD (Chemistry), Assistant Professor, the Department of Physical and Chemical Methods for Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: jossby@rambler.ru

Najduik Olga Mar'yanovna – Junior Researcher. Institute of Meat and Dairy Industry (172, Partizanskiy Ave., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: naj-olga@yandex.by

Busumatorova Alina Viktorovna – Junior Researcher. Institute of Meat and Dairy Industry (172, Partizanskiy Ave., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alina.shaporeva95@mail.ru

Поступила 05.11.2017