



Научна информация:

Прогрес и несигурност: данни за акриламид в хранителната верига (2022–2025)

I. Въведение:

В предходна публикация от 2023 г. на Центъра за оценка на риска по хранителната верига („Научен обзор: акриламид като замърсител в хранителната верига“ [ЦОРХВ](#)) бяха разгледани основните източници на акриламид в храните, механизмите на неговото образуване, здравните рискове, както и регулаторните и аналитичните подходи към контрола му. Основни ключови моменти в публикацията са:

- Широкото разпространение на акриламид в термично обработени въглехидратни храни;
- Потвърдената му канцерогенност при животни и възможен канцерогенен риск за хора;
- Приоритетната необходимост от намаляване на експозицията чрез стратегията ALARA (As Low As Reasonably Achievable);
- Въвеждането на регулаторни референтни стойности в Европейския съюз (ЕС);

II. Развитие в управлението на хранителната експозиция на акриламида след 2022 г в международен контекст

Повишено внимание към продукти за деца и зърнени храни

През последните две години международната научна и регулаторна общност насочва нарастващо внимание към храни, предназначени за деца и подрастващи, като особено рискова категория по отношение на експозицията на акриламид. Това се дължи не само на честата консумация на термично обработени храни от тази група – като бисквити, зърнени закуски, вафли и снаксове – но и на специфичната уязвимост на детския организъм поради ниското телесно тегло и незрялата метаболитна система.

Скорошни данни, представени от Başaran (2023), показват, че в някои търговски марки на бебешки и детски храни, особено в групата на бисквитите, съдържанието на акриламид надхвърля 300 µg/kg – стойности, които са значително над референтните нива, препоръчани от ЕС. Такива концентрации повдигат сериозни въпроси относно ефективността на контрола и безопасността на крайните продукти.

В отговор на тези тревожни данни, както индустрията, така и регулаторните органи започват да въвеждат редица смекчаващи мерки. Сред тях са: засилен мониторинг на суровините и крайните продукти по партии; избор на сортове зърнени култури с по-ниско съдържание на аспарагин – основния аминокиселинен прекурсор на акриламида; разработване на нови рецептури с модифицирани съставки, намаляващи образуването на замърсителя; и внедряване на ензимни технологии, включително третиране с L-аспарагиназа. В допълнение, някои производители експериментират с по-щадящи термични процеси и адаптиране на рН в продуктите. Всички тези действия целят съществено понижаване на риска от експозиция за най-уязвимите потребители – децата. (Başaran, 2023)

Пълнозърнестите храни – противоречие между полза и риск

Пълнозърнестите продукти отдавна са възприемани като здравословен избор, благодарение на високото съдържание на диетични фибри, витамини, минерали и антиоксиданти. Те са препоръчвани от редица здравни организации в контекста на балансираното хранене и профилактиката на хронични заболявания. Въпреки това, изследвания от последните години, включително анализ на Nazir (2025), подчертават един съществен проблем – високото съдържание на свободен L-аспарагин в пълнозърнестите брашна, който действа като ключов прекурсор за образуване на акриламид при термична обработка.

В сравнение с изделия от рафинирано брашно, пълнозърнестите продукти – особено бисквити и зърнени закуски – могат да съдържат до два пъти по-високи концентрации на акриламид, когато се пекат при обичайни технологични условия. Това поставя предизвикателства пред индустрията: как да се съчетаят здравословните ползи от пълнозърнестите съставки с изискванията за безопасност, свързани с минимизиране на замърсителите.

Изследването на Nazir (2025) предлага няколко ефективни стратегии за преодоляване на този баланс:

- **Ензимно третиране с L-аспарагиназа**, при което свободният аспарагин се преобразува в безопасни продукти, преди да влезе в реакция на Майяр¹;
- **Подкиселяване на тестото или брашната** – например чрез добавяне на лимонена киселина – което снижава рН и забавя химичните реакции, водещи до образуване на акриламид;
- **Използване на алтернативни, нетрадиционни брашна** – като от елда, лупина или амарант – които съдържат по-малко аспарагин и редуциращи захари и показват добри резултати в намаляване на финалните нива на замърсителя, без да се компрометира хранителният профил на продукта.

Тези подходи демонстрират, че дори при рискови суровини е възможно да се създадат безопасни и здравословни продукти, ако се прилагат подходящи технологични и рецептурни решения.

Повишено внимание към съдържанието на акриламид в кафе

Кафето остава един от най-значимите хранителни източници на акриламид в глобален мащаб – не само поради популярността му, но и поради специфичните условия на термична обработка, които благоприятстват формирането на това съединение. Последните научни усилия са насочени към въвеждане на иновативни, молекулярно ориентирани подходи за мониторинг и контрол, като особено внимание се обръща на **метаболомиката**² – съвременна аналитична платформа, която позволява цялостно профилиране на метаболити и техните взаимодействия в реално време.

В публикацията на Nazir (2025) се подчертава, че **метаболомичният анализ** е ключов инструмент за разбиране на сложните биохимични пътища, които водят до формиране на акриламид по време на печенето на кафените зърна. Благодарение на тази технология се идентифицират основните прекурсори – **аспарагин, глюкоза, фруктоза и фенолни съединения**, както и условията, при които тяхната трансформация води до образуването на акриламид чрез реакцията на Майяр.

¹ **Реакцията на Майяр** (Maillard reaction) е сложна химическа реакция между **аминокиселини** (особено аспарагин) и **редуциращи захари** (като глюкоза или фруктоза), която протича при **нагряване** — обикновено над 120 °C (вж. предходната публикация).

² **Метаболомиката** е научна област, която изучава **малките молекули (метаболити)**, присъстващи в клетки, тъкани, органи или биологични течности. Това включва например аминокиселини, захари, липиди и други междинни продукти на метаболизма.

Сред новите **смекчаващи стратегии**, обсъдени в анализа, се открояват:

- Селекция и отглеждане на сортове кафе с по-ниско съдържание на аспарагин;
- Оптимизация на параметрите на изпичане – понижаване на температурата, удължаване на времето и регулиране на влажността с цел ограничаване на критичните фази от процеса;
- Ензимни обработки, приложими както преди, така и след печене, с фокус върху модификацията на прекурсорите или разграждането на вече образувания акриламид.

Метаболомичният мониторинг в реално време отваря нови възможности за динамично управление на процеса на печене – чрез проследяване на промените в химичния профил на зърната, може да се направи прецизна настройка на условията така, че да се **минимизира образуването на акриламид**, без това да компрометира вкуса, аромата и търговската стойност на кафето.

Въпреки този напредък, Nazir (2025) изтъква и някои **съществени предизвикателства**:

- Необходимостта от интегриране на **мулти-омикс подходи** – напр. комбиниране на метаболомика с геномика³ и протеомика⁴;
- Липса на биоинформатични алгоритми, които да позволяват автоматизирана интерпретация на комплексните данни;
- Нужда от **практическо валидиране** на лабораторните открития в **реални индустриални условия**, където производственият мащаб и търговските изисквания усложняват прилагането на научни методи.

В заключение, метаболомиката се очертава като не просто нов инструмент, а **фундаментален метод** за устойчиво управление на акриламида в кафето. Чрез прилагане на тази технология в комбинация с агрономични и технологични иновации се създават предпоставки за продукти с по-нисък риск и по-високо качество, без да се жертват вкусовите характеристики, очаквани от потребителите.

III. Глобална картина и предизвикателства

Докато напредналите икономики активно прилагат тези стратегии, **страните с ограничени ресурси** или с по-слабо развит контрол в хранителната верига, остават в уязвима позиция. Липсата на достъп до специализирани лаборатории за рутинен анализ на акриламид, както и отсъствието на ясно формулирани местни нормативни изисквания, възпрепятстват прилагането на добрите практики. В този контекст, **институционалната подкрепа, трансферът на технологии и международното сътрудничество** се очертават като ключови инструменти за постигане на по-висока защита на здравето на населението.

Регулаторни промени и нови оценки на риска след 2022 г.

Регулаторната рамка в ЕС: След 2022 г. Европейската комисия и Европейският орган за безопасност на храните (ЕОБХ) продължават активната си работа по **прецизиране и надграждане на Регламент (ЕС) 2017/2158**⁵, който определя мерки за управление на риска от акриламид в храните. Основни акценти в процеса на адаптация включват:

³ **Геномиката** е научна област, която се фокусира върху анализирането и разбирането на структурата, функцията и еволюцията на геномите. Геномът е пълният набор от генетичен материал, присъстващ в даден организъм, включително всичките му гени.

⁴ **Протеомиката** е наука за белтъците (протеините) и тяхното взаимодействие в живите организми. Специфичните протеини си взаимодействат в протеинови мрежи.

⁵ Регламент (ЕС) 2017/2158 на Комисията от 20 ноември 2017 година за установяване на мерки за смекчаване на последиците и референтни нива за намаляване на наличието на акриламид в хранителните продукти, (ОВ L 304, 21.11.2017 г., стр. 24–44)

- Разширяване на обхвата на продуктовите категории, подлежащи на контрол (вкл. нови видове закуски, алтернативни брашна и детски храни);
- Засилени изисквания за вътрешен контрол – производителите следва да прилагат по-строг мониторинг, включително *по партиди*, за да се улови възможната вътрешна вариабилност;
- Увеличено внимание към *т.нар. критични точки в производствения процес*, където нивата на акриламид могат значително да варират дори при минимални отклонения в температура, състав или време за печене.

Регулаторите насърчават по-тясно сътрудничество с индустрията и лабораториите с цел *повишаване на проследимостта*, както и по-добро документиране на мерките за намаляване на рисковете.

Влошаване на риска от експозиция – нови научни наблюдения

Наред с регулаторния напредък, последните години разкриват и **усложняване на рисковата картина**, свързана с акриламид, поради редица фактори:

- Променени хранителни навици: Нарастващата популярност на **печени и преработени закуски**, включително зърнени барове, бисквити, препечени хлебчета и пържени продукти, води до увеличена честота на експозиция, особено сред **деца и подрастващи** – групи с повишена уязвимост поради по-ниска телесна маса и специфична физиология на развитие.
- Съпротива от страна на индустрията: Въпреки доказаните методи за намаляване на акриламид, част от хранителната индустрия изразява колебание при тяхното внедряване.

Основните причини включват:

- Разходи за адаптация на технологични линии;
- Потенциално изменение на вкусовите и текстурни характеристики на продуктите, които са от решаващо значение за приемането от потребителите;
- Липса на законово обвързващи лимити – тъй като референтните стойности в ЕС са ориентирани към самоконтрол, а не към санкциониране.

Нови научни доказателства за глицидамид: Метаболитът на акриламид – глицидамид – се откроява все по-ясно като основен носител на **генотоксичното въздействие**. Според Başaran (2023) и последните *in vitro* и *in vivo* проучвания:

- Глицидамидът образува ДНК адукти, които могат да предизвикат мутации;
- Повишава се рискът от канцерогенеза, особено в тъкани с висока митотична активност;
- Натрупват се данни за невроповеденчески и ендокринни ефекти, свързани именно с този метаболит, дори при ниски, субканцерогенни нива на експозиция.

IV. Развитие в международните изследвания след 2023 г.:

Нови научни данни за биологичните ефекти на акриламида

През 2023 г. в литературата се отбелязва значителен напредък в разбирането на **дългосрочните ефекти от хронична експозиция на акриламид**, дори при ниски дози. Както е показано в прегледите на Sakano & Shibutani (2023) и Başaran (2023), нараства загрижеността относно системното и мултиорганно въздействие на това съединение. По-долу са основните рискови направления, които се очертават в светлината на най-новите изследвания:

Невродегенеративни ефекти

Едно от най-изследваните направления след 2022 г. е **въздействието на акриламид върху централната и периферната нервна система**. Данните сочат, че продължителната експозиция на ниски дози акриламид може да доведе до:

- Натрупване на реактивни кислородни видове (ROS), което води до оксидативен стрес в невроните;
- Инхибиране на ключови ензими, отговорни за предаването на невротрансмитери;
- Увреждане на аксоните и нарушаване на миелинизацията⁶ – патологични промени, сходни с тези при Паркинсон и други невродегенеративни разстройства.

Животински модели показват поведенчески промени, влошена моторика и спад в когнитивната функция при продължително излагане на акриламид.

Генотоксичност на глицидамид

Особено внимание се отделя на **глицидамид** – активния метаболит на акриламид, който се образува чрез действието на чернодробния ензим **CYP2E1**. Глицидамидът показва способност да:

- Образува **стабилни адукти с ДНК**, нарушавайки нейната структура и функциите на репликация и транскрипция;
- **Провокира мутации**, особено в клетки с висока митотична активност (напр. тъкани на белите дробове, черен дроб, тестиси);
- Активира механизми на **клетъчна нестабилност**, свързани с канцерогенезата.

Модерни молекулярни техники – като **геномика, протеомика и метаболомика** – позволяват все по-прецизна локализация на тези ефекти и изграждане на молекулярни карти на токсичността.

Ендокринна дисфункция

С натрупването на нови *in vivo* и *in vitro* данни се очертава все по-ясно **ендокринно-модифициращото действие на акриламида и глицидамида**. Проучванията показват:

- Сnižаване на тестостероновите нива при мъжки животински модели;
- Нарушение в осите хипоталамус-хипофиза-гонади, с ефекти върху фертилността;
- Наблюдавани са морфологични промени в тестикуларната тъкан, нарушена сперматогенеза и понижени параметри на сперматозоидите.

Тези ефекти се проявяват **дори при дози, по-ниски от приетите за допустими граници**, което поставя под въпрос адекватността на настоящите регулации.

Системни ефекти и хронични заболявания

Една от най-тревожните тенденции в изследванията е натрупването на доказателства, че **хроничната експозиция на акриламид води до системни биохимични и физиологични промени**, включително:

- Повишени плазмени нива на възпалителни цитокини и биомаркери за оксидативен стрес;
- Потенциални връзки със сърдечно-съдови заболявания, метаболитен синдром и ендометриален или бъбречен карцином;

⁶ Миелинизацията е процес, при който се произвежда миелин, от който се образува миелиновия слой покриващ аксоните на нервните клетки и който е съществен за правилното функциониране на нервната система.

- Идентифицирани са **епигенетични промени**, които показват възможност за трансгенерационен ефект – т.е. негативни въздействия върху потомството на изложени индивиди.

V. Усъвършенствани технологични мерки за намаляване на акриламида

През последните години, особено след 2022 г., се наблюдава съществен напредък в прилагането на иновативни технологични стратегии, целящи да намалят образуването на акриламид в хранителни продукти, подложени на термична обработка. Тези подходи се основават както на биохимично въздействие върху прекурсорите, така и на оптимизиране на самите производствени процеси.

1. Ензимно третиране с L-аспарагиназа

L-аспарагиназата е сред най-обещаващите инструменти в борбата с акриламида. Този ензим катализира хидролизата на аминокиселината аспарагин до аспартат и амоняк, като по този начин елиминира един от основните прекурсори в реакцията на Майяр. Прилагането на аспарагиназа преди термична обработка в продукти като хлебни изделия, чипс и бисквити води до **намаляване на акриламид с до 90%**, без да се компрометира вкусът или текстурата на храната. Индустриалното внедряване е улеснено от вече наличните търговски формулировки на ензима.

2. Ферментация с подобрени стартерни култури

Ферментационните процеси, използващи млечнокисели бактерии или дрожди, също се утвърждават като ефективни стратегии. Те способстват за разграждането на редуциращи захари и аспарагин още в суровинната фаза. Освен това, ферментацията подобрява аромата, вкуса и текстурата на продуктите, като същевременно намалява нивата на акриламид. Подходът е особено подходящ за тестени изделия и бисквити.

3. Регулация на термичния процес

Коригирането на параметрите на печене – понижаване на температурата при удължаване на времето – е добре изследван метод за редуциране на акриламид. Чрез избягване на прекомерно изгаряне или препичане, се ограничават интензивните реакции на Майяр, водещи до образуване на вредното съединение. Така например, печене при 160 °C вместо при 180 °C, в комбинация с контрол на влажността, може да намали съдържанието на акриламид с над 40%.

4. Добавяне на антиоксиданти и органични киселини

Добавянето на природни съединения, като **екстракти от зелен чай, гроздови семки или маслинови продукти**, води до неутрализиране на свободните радикали и инхибиране на термогенните реакции. Същевременно, подкиселяването с **лимонена или оцетна киселина** променя рН и потиска активността на реакцията на Майяр, без да се нарушава вкусовият профил на продуктите.

5. Напредък с термостабилни ензими

Една от основните бариери пред по-широкото използване на L-аспарагиназата бе чувствителността ѝ към висока температура и екстремни стойности на рН. През последните години обаче, бяха създадени **термостабилни и рН-устойчиви варианти** на ензима. Тези модифицирани форми запазват активността си дори при условията на индустриално печене, което разширява приложимостта им в по-широк спектър от хранителни категории – от зърнени изделия до месни продукти.

6. Нови хибридни технологии

Вакуумно печене

Вакуумното печене се отличава с това, че позволява термична обработка при по-ниска температура и по-ниско налягане, което намалява образуването на акриламид. Този метод запазва текстурата и вкуса на продукта и е особено обещаващ при производството на чипс и закуски.

Импулсните електрически полета (**Pulsed Electric Fields (PEF)**) предизвикват **електропорация на клетъчните мембрани**. Това улеснява извличането на вода и понижава нуждата от агресивна термична обработка. В резултат – по-малко акриламид, по-кратко време на термообработка и запазено качество на храната.

VI. По – задълбочено разбиране на факторите за формиране на акриламид

Новите изследвания все по-категорично потвърждават, че формирането на акриламид в храни е резултат от комплексни биохимични взаимодействия, най-вече в рамките на реакцията на Майяр – процес, който протича при термична обработка на въглехидратни храни. Централна роля в този процес играят аминокиселината **аспарагин** и **редуциращите захари** като глюкоза и фруктоза. Когато тези две съставки присъстват едновременно и се подложат на висока температура, се задейства поредица от реакции, водещи до образуване на акриламид като страничен продукт.

Освен основните прекурсори, **минералният състав на храната** оказва съществено влияние върху скоростта и мащаба на тези реакции. Присъствието на **калий**, например, е доказано като фактор, който ускорява процесите на образуване на акриламид, тъй като участва в катализата на реакции с участието на аспарагин. Също така, **нивото на влажност** в продукта играе важна роля – при по-ниска влажност се създават условия за по-интензивна топлинна обработка и повишена концентрация на акриламид.

Все повече научни публикации и лабораторни експерименти демонстрират, че **изолираните мерки – например само понижаване на температурата или само ензимна обработка – не са достатъчни**, за да се постигне съществена редукция на акриламид. Ефективността е значително по-висока, когато се прилага **комбиниран подход**, включващ няколко интервенции: ензимна редукция на прекурсори, оптимизация на температурата и времето на печене, както и добавяне на органични киселини или антиоксиданти. Такива интегрирани стратегии се разглеждат като бъдещ стандарт за индустриалната практика.

Паралелно с технологичния напредък се задълбочава и разбирането за потенциалните **здравни рискове, свързани с хронична експозиция на ниски дози акриламид**. Докато по-ранните оценки се фокусираха върху краткосрочната токсичност и канцерогенния потенциал, новите изследвания подчертават **кумулятивния ефект** при продължително излагане. Доказано е, че дори ниски концентрации на акриламид в ежедневното хранене могат с времето да доведат до трайни изменения в клетъчната физиология.

Особена тревога будят наблюденията за **геномни и епигенетични промени**, причинени от акриламид и неговия метаболит глицидамид. Проучванията показват, че излагането може да доведе до **увреждане на ДНК, метилиране на гени и промени в експресията на ключови регулаторни протеини**, като тези ефекти се проявяват не само при експонираните индивиди, но и **могат да се предават на следващите поколения**. Този трансгенерационен потенциал на акриламида поставя нови въпроси относно дългосрочната безопасност на хранителните системи.

Допълнително усложнение представлява липсата на **унифицирани глобални лимити за акриламид**. Докато ЕС е въвел референтни стойности за отделни категории храни, други региони – включително развиващи се страни – нямат стабилна регулаторна рамка. Това създава **регулаторна фрагментация**, при която нивото на защита на потребителите значително варира в зависимост от географското местоположение, икономическото развитие и капацитета за лабораторен контрол. Учените препоръчват засилен регулаторен контрол, особено що се отнася до уязвими групи от населението (деца, бременни жени).

Аналитични методи за откриване

Най-надеждни методи за определяне на акриламид в храните остават LC-MS/MS (течно хроматографска мас-спектрометрия с двоен анализатор) и GC-MS (газова хроматография с мас-спектрометрия). Основни предизвикателства включват сложността на хранителните матрици и ограничената достъпност на тези методи за рутинна употреба в по-малки лаборатории.

Засега сред проучванията не се установяват конкретни данни, които да показват, че сензорните характеристики (като вкус, цвят, текстура и аромат) могат надеждно да се използват за корелация със съдържанието на акриламид в храните. Няма и сериозни индикации в литературата, че подобен подход би могъл да замести инструменталните методи като LC-MS/MS или GC-MS.

Въпреки това, в някои статии (напр. *Nazir, 2025* и *Achmed, 2024*) се обсъжда **потенциала на метаболомиката и мулти-омикс подходи, които в бъдеще биха могли да свържат химичния профил (включително сензорни маркери) със съдържанието на акриламид** – но това е все още в експериментален етап.

VII. Български контекст

Ниска експозиционна оценка

В България липсват **национални проучвания за хранителен прием на акриламид**. Към момента данните, които докладва България към ЕОБХ по линия на Регламент 2017/2158, не са публично достъпни.

Регулаторна пасивност

Референтните стойности в ЕС са **ориентировъчни**, а не задължителни лимити, което позволява различно прилагане по страни членки.

България **не е въвела национални нормативни документи**, адаптиращи референтните стойности към местната храна, кухня и култура на готвене.

VIII. Препоръки и бъдещи направления

С оглед на продължаващите предизвикателства при управлението на риска от акриламид, в научната литература се открояват няколко ключови направления за бъдещи усилия:

Идентифициране и валидиране на биомаркери за експозиция: Необходима е разработка на специфични и чувствителни биомаркери, които да позволяват прецизно проследяване на натрупването на акриламид и неговите метаболити в организма, включително в уязвими групи като деца и бременни.

По-задълбочено разбиране на хроничната експозиция на ниски дози акриламид: Все повече изследвания потвърждават, че дори малки количества акриламид, приемани продължително време, могат да имат неврологични, генетични и хормонални последствия. Ето защо са необходими дългосрочни проучвания, включително епидемиологични и молекулярни, за по-добро прогнозиране на риска.

Развитие на усъвършенствани алгоритми за оценка на риска: Текущите методики често не отчитат индивидуални различия в метаболизма, експозицията чрез различни хранителни източници или кумулативни ефекти. Препоръчва се интегриране на мулти-омикс данни, биоинформатика и персонализирани модели за по-прецизна оценка.

Създаване на достъпни и бързи скринингови технологии: Настоящите аналитични методи (като LC-MS/MS и GC-MS) са ефективни, но скъпи и трудноприложими в рутинен

контрол. Необходими са иновативни, преносими и нискобюджетни методи, които да позволят мониторинг на акриламида директно в производствена или лабораторна среда – включително за малки предприятия и контролни органи в развиващи се страни.

Източници

Achmed. (2024). Investigating influencing factors on acrylamide content in fried potatoes and mitigating measures: a review. *BMC*, <https://fppn.biomedcentral.com/articles/10.1186/s43014-023-00212-6>.

Başaran, B. (2023). Dietary Acrylamide Exposure and Cancer Risk: A Systematic Approach to Human Epidemiological Studies. *PubMed*, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9858116/>.

Nazir, N. (2025). Metabolomic insights on acrylamide formation and mitigation in coffee processing: a review. *Science direct*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157525007926>.



Други информации в областта на новите храни, както и оценка на риска по цялата хранителна верига може да намерите на сайта на Центъра за оценка на риска по хранителната верига: <http://corhv.government.bg/>

<https://corhv.government.bg/Замърсители-по-хранителната-верига--с-33>

Изготвил:

Инж. Светлана Савова, главен експерт, дирекция „Оценка на риска по хранителната верига“ при ЦОРХВ

31.07.2025 г.