

Danuta Rachwał, Ewa Nebesny

REDUKCJA ZAWARTOŚCI AKRYLAMIDU W PRODUKTACH SPOŻYWCZYCH

Zakład Technologii Skrobi i Cukiernictwa
Instytutu Chemicznej Technologii Żywności
Politechniki Łódzkiej
Kierownik: prof. dr hab. inż. *E. Nebesny*

Hasła kluczowe: akrylamid, metody redukcji w produktach spożywczych.
Key words: acrylamide, reduction method in foodstuffs.

Problem akrylamidu stał się głośny w kwietniu 2002 r., gdy naukowcy z Uniwersytetu w Sztokholmie po raz pierwszy wykryli potencjalnie rakotwórczą substancję akrylamid (2-propenamid) w smażonych i pieczonych ziemniakach oraz w żywności na bazie zbóż (1).

W 2005 r. dział zajmujący się zanieczyszczeniami żywności Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (*European Food Safety Authority – EFSA*) podtrzymał opinię Komitetu ekspertów ds. Dodatków do Żywności (*Joint Expert Committee on Food Additives – JEFCA*) stwierdzając, że powinno podjąć się wszelkie wysiłki na rzecz zmniejszenia narażenia ludzi na tę substancję. Aktualnie w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej przyjęto nowe zalecenia Komisji Europejskiej (KE) z dnia 2 czerwca 2010 r. w sprawie monitorowania poziomu akrylamidu w żywności. Dokument ten został opracowany w związku z faktem, że program monitoringu zawartości tego związku w środkach spożywczych nie przyniósł pożądanych skutków i wymaga kilku zmian (2).

Jest substancją bezbarwną i bezwoną, ulega topnieniu w temp. 84–86°C. Poddany działaniu promieniowania UV bądź ogrzewaniu ulega polimeryzacji. Dobrze rozpuszcza się w wodzie oraz innych rozpuszczalnikach polarnych tj. metanolu, acetonie i etanolu (3).

Akrylamid nie występuje w żywności świeżej i gotowanej. Tworzy się na skutek działania temp. powyżej 120°C w czasie smażenia, głębokiego smażenia i pieczenia w żywności bogatej w węglowodany. Wymienione w tab. I produkty spożywcze odznaczają się tym, iż oprócz wysokiej zawartości węglowodanów w tym cukrów redukujących zawierają także duże ilości aminokwasu asparaginy, co ma znaczenie w przypadku pieczywa cukierniczego. Badania wykonane przez *Amrein* i współpr. w 2004 r. wykazały, że zawarta w mące asparagina bierze udział w reakcji tworzenia akrylamidu (4).

Stężenie wolnej asparaginy w różnych rodzajach zboża waha się w szerokim zakresie. Przybliżone zawartości asparaginy w niektórych roślinach podano w tab. II.

Tabela I. Zawartość akrylamidu w produktach przetworzonych (5)

Table I. Content of acrylamide in processed products (5)

Rodzaj produktu	Zawartość $\mu\text{g}/\text{kg}$
Pieczyno (bułki, chleb, obwarzanki)	70 – 430
Chipsy ziemniaczane	<50 – 3500
Frytki ziemniaczane	200 – 2287
Ziemniaki gotowane	48
Ciastka, krakersy, herbatniki	<30 – 3200
Suchary	80 – 1200
Płatki śniadaniowe	30 – 1400
Pierniki	90 – 1660
Czekolada (proszek)	<50 – 100
Orzechy, masło orzechowe	64 – 457
Mięso, drób	30 – 64
Pieczone szparagi	143

Tabela II. Zawartość asparaginy w różnych roślinach jadalnych (6)

Table II. Content of asparagine in a variety of edible plants (6)

Roślina	Zawartość (mg/g)
Ziemniaki	0,5 – 10,0
Zboże	0,6 – 1,0
Pszenica	0,02 – 2,0
Żyto	0,2 – 2,8
Szparagi	5,4 – 108
Ziarno kakaowe (surowe)	30,9
Prażone w 125°C ziarno kakaowe	14,5
Prażone w 135°C ziarno kakaowe	9,4

WARUNKI TWORZENIA AKRYLAMIDU W PRODUKTACH SPOŻYWCZYCH

Niezależnie od mechanizmu powstawania akrylamidu niezbędny do jego wytworzenia jest azot amidowy – wolny, bądź pochodzący z łańcuchów peptydowych. W początkowej fazie reakcji glukozy z asparaginą grupa α -aminowa wolnej asparaginy reaguje z grupą karbonylową cukru tworząc zasadę *Schiffa*, która pod wpływem działania wysokiej temperatury ulega dekarboksylacji, której dwa produkty mogą reagować na dwa różne sposoby. Pierwszym jest hydroliza z wytworzeniem 3-aminopropionamidu przekształcanym w dalszej kolejności do akrylamidu poprzez eliminację cząsteczki amoniaku. Drugi sposób to bezpośredni rozkład produktu dekarboksylacji zasady *Schiffa* z wydzieleniem określonej iminy i wytworzeniem akrylamidu (7).

Możliwy najprostszy mechanizm tworzenia się akrylamidu z tłuszczów odbywa się w sekwencji przemian: acyloglicerole \rightarrow akroleina \rightarrow kwas akrylowy + $\text{NH}_3 \rightarrow$ akrylan amonu \rightarrow akrylamid. Ponadto zaobserwowano także powstawanie akrylamidu w produktach o małej zawartości tłuszczu, głównie ziemniaczanych oraz smażonych w olejach nieacyloglicerolowych (8).

Oprócz prekursorów odpowiedzialnych za tworzenie się akrylamidu w przetwarzanym surowcu istotną rolę w syntezie tego związku odgrywają parametry reakcji. Akrylamid powstaje podczas obróbki cieplnej w temp. 120°C i wraz z podwyższeniem temperatury tempo jego syntezy wzrasta (9).

Maksimum tworzenia akrylamidu to temp. ok. 170°C . W przypadku produkcji przetworów ziemniaczanych tempo syntezy akrylamidu znacząco wzrasta w temp. powyżej 175°C (10), a w produktach zbożowych w 180°C (11).

Generacja akrylamidu jest typowo powierzchniowym zjawiskiem, w próbach o wysokiej zawartości wody tj. w surowym ziemniaku czy cięście prawie nie dochodzi do wytworzenia tego związku. W produktach ziemniaczanych największa ilość akrylamidu powstaje, gdy wilgotność materiału wynosiła 10–20% (11).

W przypadku pieczywa cukierniczego, gdy wilgotność wynosiła 10% nie obserwowano zjawiska tworzenia się akrylamidu. Obniżenie wilgotności w produkcie do 6% powoduje generację akrylamidu w temp. pieczenia 160 i 120°C , w ilościach odpowiednio 28 $\mu\text{g}/\text{kg}$ i 39 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Natomiast, gdy wilgotność herbatników wynosiła 2% ilość akrylamidu w wyrobie wzrosła w zakresie 165–363 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Co świadczy o tym, że wilgotność produktów cukierniczych może mieć ogromne znaczenie w kształtowaniu zawartości akrylamidu (12).

Badania potwierdziły, że optymalny zakres pH tworzenia się akrylamidu to 7–8. Obniżenie pH z 7 do 4 w modelowych układach asparagina-glukoza powoduje redukcję zawartości akrylamidu o 99%. W układach o pH 4 poprzez protonowanie grupy aminowej następuje blokowanie powstawania zasady *Schiffa*, która jest jednym z podstawowych etapów w czasie powstawania akrylamidu (11).

Biorąc pod uwagę wpływ mediów smaźalniczych tj. tłuszczów na tworzenie się akrylamidu wykazano, że ma on niewielki bezpośredni wpływ. Tłuszcze decydują o tym, w jaki sposób jest przenoszone ciepło do smażonych produktów i w ten sposób pośrednio wpływają na powstawanie akrylamidu (10). Oprócz tego *Claeys* i współpr. (11) stwierdzili, że na ilość tworzącego się akrylamidu ma wpływ także rodzaj smaźalnika oraz stosunek wkładu do objętości oleju smaźalniczego.

Prace przeprowadzone przez *Surdyk* i współpr. (6) wykazały, że w 99% akrylamid tworzy się głównie w skórce chleba pszennego. Jego zawartość stopniowo zwiększa się wraz ze wzrostem temperatury i ciemniejszą barwą skórki chleba, co potwierdza związek reakcji *Maillarda* z generacją akrylamidu.

W przypadku pieczywa, dodane składniki oraz receptura przygotowania mogą przyczyniać się w różnym stopniu do dostępności najważniejszych prekursorów (cukry redukujące i wolna asparagina) mających ogromne znaczenie w tworzeniu się akrylamidu.

Rodzaj zastosowanego środka spulchniającego ma duży wpływ na powstawanie akrylamidu. Dodanie wodorowęglanu amonu do pierników wzmocniło tworzenie akrylamidu. Natomiast zastąpienie go wodorowęglanem sodu powodowało obniżenie ilości akrylamidu o 60%. Wolna asparagina obecna podczas wytwarzania pier-

ników była czynnikiem wpływającym na tworzenie się akrylamidu. Jego zawartość może być także obniżona przez zastąpienie cukrów redukujących sacharozą, a także poprzez dodanie kwasów organicznych (4).

METODY OBNIŻENIA ZAWARTOŚCI AKRYLAMIDU W ŻYWNOSCI

Dodatek związków antyoksydacyjnych

Dodatek wyciągów roślinnych do różnego rodzaju produktów spożywczych może stanowić nową metodę ograniczenia zawartości akrylamidu. Flawonoidy są grupą ważnych funkcjonalnie składników roślinnych obecnych w ziołach, warzywach i owocach, które stanowią ich ogromne źródło. Do roślin mogących poprzez swoje antyoksydacyjne właściwości redukować zawartość akrylamidu zaliczono przede wszystkim liście bambusa, zieloną herbatę, rozmaryn i oregano.

Bambus jest rośliną występującą w południowo-wschodniej Azji, gdzie stanowi zarówno tradycyjny materiał budowlany jak i jest spożywany przez tamtejszą ludność. W roku 2000 *Hu* i współpr. (14) zajmowali się badaniem ekstraktu z liści bambusa. Wykazali, że głównymi kwasami fenolowymi wchodzącymi w skład ekstraktu są m.in. kwas chlorogenowy, kwas kawowy i flawonoid 7-glukozyd luteoliny. Glikozydy flawonu wykazują dobrą hydrofilowość, co jest ważne w przypadku stosowania liści bambusa, jako dodatku do różnych rodzajów żywności, a szczególnie tej poddanej obróbce cieplnej (15). Prace badawcze opublikowane przez *Zhang* i współpr. (16) wykazują, że dodatek antyoksydantów zawartych w liściach bambusa do frytek i chipsów może redukować poziom akrylamidu. Ekstrakt ten był rozpuszczany w wodzie w różnych stężeniach. Frytki i chipsy zostały podzielone na dwie grupy, jedna z nich była moczona w sporządzonym roztworze ekstraktu liści bambusa w sześciu różnych okresach czasu od 5 do 600 sekund natomiast druga kontrolnie w wodzie destylowanej w tych samych przedziałach czasowych. Obniżenie zawartości akrylamidu wahało się w granicach od 2,1% do 76,1%. Najniższy poziom akrylamidu (spadek o 74,1%) odnotowano w chipsach moczonych w roztworach wodnych zawierających 0,1% ekstraktu liści bambusa. W przypadku frytek już 0,01% roztwór wodny ekstraktu liści bambusa powodował spadek zawartości akrylamidu o 76,1%. Nieznaczne zmniejszenie zawartości akrylamidu stwierdzono również w grupie kontrolnej, obniżenie było proporcjonalne do długości czasu moczenia ziemniaka w wodzie destylowanej. Związane to było prawdopodobnie z wypłukiwaniem cukrów redukujących. Dodatek wodnego ekstraktu liści bambusa nie powodował zmian sensorycznych frytek i chipsów.

Akrylamid występuje także w produktach mięsnych poddanych smażeniu i pieczeniu. W 2007 r. zostały opublikowane wyniki badań wpływu ekstraktu z liści bambusa na skrzydełka kurczaka. Produkt był obtaczany mąką z dodatkiem ekstraktu z liści bambusa wraz z dodatkiem mieszanki poprawiającej smak potrawy. Okazało się, że dodatek mieszanki poprawiającej smak kurczaka powodował, że ilość tworzącego się akrylamidu była wyższa niż w przypadku skrzydełek kurczaka obtoczonych mąką z dodatkiem ekstraktu z liści bambusa. Mogło to być spowodowane faktem, iż warstwa tej mieszanki blokowała kontakt pomiędzy powierzchnią kurczaka, a mąką z dodatkiem ekstraktu z liści bambusa. Zastosowanie mąki z dodatkiem liści bambu-

sa korzystnie wpływało na cechy sensoryczne potrawy. W dalszej kolejności badania skupiono się nad optymalną ilością dodatku liści bambusa do mąki powodującą obniżenie zawartości akrylamidu. Poziom akrylamidu w smażonych skrzydełkach kurczaka został zmniejszony o 57,8 i 59,0% przy dodatku ekstraktu z liści bambusa odpowiednio w ilościach 0,1 i 0,5% (17).

Zainteresowanie zieloną herbatą i jej wpływem na ludzki organizm nie jest nowością, jak wiadomo jest ona silnym antyoksydantem zawierającym głównie 4 flawonoidy odznaczające się najwyższą reaktywnością, czyli epikatechinę, galusan epikatechiny, epigalokatechinę oraz galusan epigalokatechiny. Zielona herbata, jak i wspomniani wcześniej ekstrakt z liści bambusa są wpisane na listę antyoksydantów stosowanych w Chinach, których użycie może stanowić nowy sposób zmniejszania zawartości akrylamidu w produktach poddanych obróbce cieplnej.

Jednym z prekursorów generacji akrylamidu może być akroleina, tworząca się podczas ogrzewania tłuszczu w wysokiej temperaturze. *Gramzaa* i wspópr. (18) wykazali, że sposób uzyskiwania ekstraktu z zielonej herbaty ma duży wpływ na stabilność lipidów, w tym przypadku oleju słonecznikowego i smalcu. Zawarte w ekstraktach z zielonej herbaty flawonoidy mogą blokować powstawanie związków odpowiedzialnych za tworzenie akrylamidu w różnych produktach spożywczych.

Badania przeprowadzone przez *Capuano* i wespółpr. (19) wskazują, że zastosowanie ekstraktu z zielonej herbaty może w pewnym stopniu także obniżyć zawartość akrylamidu tworzącego się w chrupkim chlebie pszennym podczas jego wypieku. Zastosowanie ekstraktu z zielonej herbaty w ilości 0,5% dawało zadowalający rezultat w redukcji zawartości akrylamidu, natomiast dodanie ekstraktu w ilości 0,02 i 0,1% wręcz wzrost, w porównaniu do próby kontrolnej (bez dodatku ekstraktu).

Dużą zawartością związków polifenolowych odznaczają się także przyprawy i zioła. Ziele angielskie, czarny pieprz, majeranek i oregano dodane do ziemniaków smażonych w temp. 180°C prowadzą do redukcji akrylamidu o 75% w przypadku ekstraktu z ziela angielskiego i 50% w przypadku ekstraktu z czarnego pieprzu. Biorąc pod uwagę także ilość polifenoli zawartych w tych przyprawach można stwierdzić, iż w przypadku ziela angielskiego odznaczającego się największą zdolnością do redukcji akrylamidu zawartość polifenoli nie była najwyższa (1931 mg kwasu galusowego/L ekstraktu). Natomiast odznaczał się on największą zdolnością zmiatania wolnych rodników DPPH, co może świadczyć o znaczącej reaktywności związków zawartych w tej przyprawie (20). Nie tylko ilość związków polifenolowych decyduje o ich zdolnościach do redukcji akrylamidu, ale przede wszystkim ich rodzaj, a tym samym budowa cząsteczki.

Becalski i wespółpr. (8) stwierdzili, że dodatek rozmarynu do oleju z oliwek i oleju z kukurydzy, w których następnie smażono plasterki ziemniaka powodował obniżenie zawartości akrylamidu o 25%.

Arribas-Lorenzo i wespółpr. (21) poddali badaniu wpływ zawartych w oliwie z oliwek związków fenolowych na generację akrylamidu oraz określali, jakie znaczenie ma poddany działaniu wysokiej temperatury olej słonecznikowy (utleniony) w tworzeniu się tego kancerogennego związku w ciastkach kruchych. Ciastka były wypiekane w temp. 190°C w czasie 8–16 min. i różniły się jedynie ilością dodanego oleju z oliwek, który zawierał trzy różne stężenia związków fenolowych. Uzyskane wyniki dowiodły, że na tworzenie się akrylamidu w ciastkach mają istotny wpływ

zarówno stężenie jak i skład związków fenolowych obecnych w oliwie z oliwek. Zastosowanie utlenionego oleju słonecznikowego znacznie podwyższa zawartość akrylamidu w ciastkach. Ciastka z dodatkiem tego oleju charakteryzowały się ciemniejszą barwą oraz wyższą zawartością hydroksymetylofurfuralu (jednego z charakterystycznych związków powstających w reakcji *Maillarda*). Mechanizm działania związków fenolowych zawartych w oliwie nie jest w pełni poznany. Teoretycznie mogą one działać poprzez blokowanie degradacji cukrów jak również poprzez opóźnianie powstawania produktów peroksydacji tłuszczów. W obu przypadkach powoduje to zmniejszenie ilości reagentów niezbędnych do tworzenia akrylamidu.

Kotsiou i współpr. wykazali (22), że polifenole zawarte w oliwie z oliwek mogą także zmniejszać powstawanie akrylamidu w żywności w postaci emulsji. Okazuje się, że akrylamid nie tworzy się w tego rodzaju produktach w temp. poniżej 115°C, natomiast ogrzewanie emulsji do temp. 125°C powoduje zauważalny wzrost zawartości akrylamidu. Autorzy sugerują, że takie związki jak Trolox oraz kwasy fenolowe (ferulowy, galusowy, kawowy i protokatechowy, czyli kwas 3,4-dihydroksybenzoesowy) mogą redukować zawartość akrylamidu podczas ogrzewania w 125°C. Trolox, kwas galusowy i protokatechowy obniżyły zawartość akrylamidu o 70%, a kwas ferulowy i kawowy o 50%. Uzyskano natomiast wręcz przeciwnie wyniki w przypadku dodania związków fenolowych zawartych w oliwie z oliwek do emulsji. Związki fenolowe obecne w oliwie z oliwek zawierają, zarówno grupy hydroksylowe lub/i grupy aldehydowe, które wykazują istotny wpływ na podwyższenie zawartości akrylamidu. Co może sugerować, że olej tego rodzaju powinien być wykorzystywany jedynie do przygotowania potraw poddanych krótkiemu ogrzewaniu w niskiej temperaturze. W tego rodzaju żywności najważniejszy okazał się aspekt temperatury wpływającej na tworzenie się akrylamidu, w mniejszym stopniu czas. Niewielkie ilości akrylamidu powstawały poprzez ogrzewanie emulsji w temp. 115°C przez 60 min., natomiast biorąc pod uwagę przemysłowe procesy sterylizacji stosowane dla oliwy z oliwek, korzystniejsza wykazana w tym badaniu jest temperatura niższa przy dłuższym czasie ogrzewania.

Bassama i współpr. (23) badali efekt działania czystych związków antyoksydacyjnych na tworzenie się akrylamidu w układzie modelowym asparagina–glukoza podczas ogrzewania do 200°C. Kwas cytrynowy i sześć związków fenolowych (kwas galusowy, ferulowy, kumarowy, kawowy oraz katechina i epikatechina) wykazały różne zdolności antyoksydacyjne oraz znikomy wpływ na obniżenie zawartości akrylamidu. Wzrost aktywności antyoksydacyjnej zaobserwowano jedynie przy dodatku kwasu kawowego do układu modelowego jednak nie nastąpiło w nim obniżenie poziomu akrylamidu. Okazało się, że w zaproponowanym modelu asparagina–glukoza oraz w warunkach przeprowadzonego badania ani związki fenolowe ani ich działanie antyoksydacyjne wykazane podczas ogrzewania nie mają wpływu na ograniczenie zawartości akrylamidu.

Badania przeprowadzone przez *Ou* i współpr. (24) polegające na analizie wpływu antyoksydantów i ich form utlenionych na tworzenie się akrylamidu w modelu glukoza–asparagina wykazały, że ogromne znaczenie ma stabilność form antyoksydantów. Dodatek takich związków antyoksydacyjnych jak *tetr*-butylohydrochinon (TBHQ), butylohydroksyanizol (BHA), butylohydroksytoluen (BHT) powodują jedynie niewielką redukcję akrylamidu, a nawet zaobserwowano w niektórych prób-

kach jego wzrost. Natomiast mniej stabilne (łatwo utleniające się) antyoksydanty, takie jak galusan epigalokatechiny i witamina C (badany był także kwas ferulowy) hamują tworzenie się akrylamidu. Wykazano, że im mniej stabilny związek antyoksydacyjny, tym większy spadek zawartości akrylamidu, np. witamina C zredukowała zawartość akrylamidu o 63,4%, a kwas ferulowy o 66,2%. Autorzy podają, że antyoksydanty hamują tworzenie się akrylamidu poprzez swoje utlenione formy, które reagują z głównym prekursorem generacji akrylamidu, asparaginą, obniżając w ten sposób zawartość wolnej asparaginy. Wykazali oni również, że występuje dodatnia korelacja pomiędzy zawartościami grup karbonylowych i tworzeniem akrylamidu. Dodane związki antyoksydacyjne do modelowego układu olej–asparagina podczas smażenia hamowały tworzenie się związków karbonylowych.

Zatem, antyoksydanty mogą ograniczać tworzenie się akrylamidu podczas przetwarzania żywności w wysokiej temperaturze, na trzy sposoby. Pierwszym z nich jest to autodestrukcja akrylamidu poprzez utlenione produkty. Drugi, to formowanie chinonów lub związków karbonylowych, z takich antyoksydantów jak witamina C, które następnie reagują z głównym prekursorem akrylamidu, asparaginą. Efekt hamowania w tym przypadku zależy głównie od łatwości utleniania się antyoksydantów, ich szybkości reakcji utleniania oraz od podatności utlenionych produktów na reakcję z asparaginą. Trzecim jest ograniczanie wytwarzania związków karbonylowych produkowanych z oleju podczas jego smażenia.

Dodatek aminokwasów

W celu obniżenia zawartości akrylamidu niektórzy autorzy zainteresowali się aminokwasami i ich dodatkiem do produktów spożywczych. W systemie modelowym żywności asparagina–glukoza szybkość reakcji aminokwasów w stosunku do powstawania akrylamidu okazała się podobna do reakcji *Maillarda* (25).

Dodanie do ciasta cysteiny powoduje znaczne obniżenie zawartości akrylamidu w chlebie pszennym. Dodana cysteina sprzyja redukcji akrylamidu w produkcji wyrobów piekarniczych, ale należy zachować ostrożność stosując ten środek redukcji, ponieważ może on wpływać na właściwości ciasta chlebowego pod względem reologicznym i sensorycznym (7).

Także glicyna może być wykorzystana, jako skuteczny środek powodujący zmniejszenie zawartości akrylamidu w żywności, w której istnieje duża zawartość asparaginy (26).

Badania wykonane przez *Mustafa* i współpr. (27) określają wpływ dodania glicyny na zawartość akrylamidu w układzie z dodatkiem asparaginy w różnym czasie fermentacji drożdży chleba pszennego. W eksperymencie tym wykazano interakcję pomiędzy dodatkiem glicyny i asparaginy. Dodanie większej ilości asparaginy wraz z zmniejszeniem dodatku glicyny powodowało obniżenie wpływu tego aminokwasu na generację akrylamidu. Okazuje się, że redukcja akrylamidu jest związana głównie z poziomem asparaginy w układzie modelowym. Gdy występował niski poziom asparaginy, nie stwierdzono wpływu dodatku glicyny na tworzenie się akrylamidu. Efekt ten może być związany z konkurencją pomiędzy tymi dwoma aminokwasami w reakcji z cukrami redukującymi (28).

Koutsidis i jego współpr. (29) badali działanie różnych aminokwasów na tworzenie się akrylamidu w niskiej wilgotności układu modelowego asparagina–glukoza. Pro-

lina, tryptofan, glicyna i cysteina wykazały zdolność zmniejszania ilości akrylamidu. Wykazano również, że prolina, jako aminokwas występujący w mące pszennej i żytniej, może zmniejszyć tworzenie się akrylamidu w 80%. Ponadto, prolina jest kluczowym aminokwasem w tworzeniu związków zapachowych pieczonych produktów, więc może dodatkowo poprawić profil smaku pieczywa. Oprócz proliny, także tryptofan hamował tworzenie akrylamidu o 80%, a cysteina i glicyna o ok. 50%.

Interesującym rozwiązaniem prócz dodatków określonych aminokwasów do produktów skrobiowych może być zastosowanie przez *Vattem* i współpr. (30) mąki z ciecierzycy do obtaczania plasterków ziemniaka przed ich smażeniem. Uzyskany w ten sposób produkt charakteryzował się obniżonym o ok. 50% poziomem akrylamidu. Mogło to być związane z tym, że białka ciecierzycy są stabilne w podwyższonej temperaturze. Podczas obróbki termicznej pełniły one rolę ochronną związaną z zabezpieczeniem przed rozerwaniem łańcucha węglowego w cukrach prostych i tym samym tworzeniem związków trójwęglowych prowadzących do powstania akrylamidu.

PODSUMOWANIE

W porównaniu do produktów ziemniaczanych artykuły cukiernicze są znacznie bardziej zróżnicowane. Ten rodzaj żywności posiada zróżnicowany skład surowców, dodatków oraz różni się technologią przetwarzania. Do głównych metod ograniczenia ilości akrylamidu w produktach spożywczych zaliczane są: w przypadku wyrobów na bazie ziemniaka, obróbka wstępna związana z myciem lub blanszowaniem (dodatek kwasu cytrynowego), obtaczanie plastrów ziemniaka w mące, zastosowanie określonego oleju do smażenia (np. olej kukurydziany). Natomiast w pieczywie cukierniczym są stosowane metody związane z modyfikacją receptury, czyli zastąpienie mąki pszennej mąką o mniejszej zawartości asparaginy, zmiana środka spulchniającego (zastąpienie wodorowęglanu amonu wodorowęglanem sodu), obniżenie pH, jak również regulacja parametrów obróbki cieplnej (temperatury, czasu, wilgotności powietrza).

Obecnie nie ma praktycznej i skutecznej metody całkowicie eliminującej akrylamid z produktów spożywczych. Nawet, jeśli uda się ograniczyć występowanie akrylamidu, to nie ma jednego rozwiązania, które można stosować do każdego rodzaju żywności, a wiele sposobów mogących ograniczyć zawartość akrylamidu raczej niekorzystnie wpływa na smak, barwę lub konsystencję. Trwają jednak badania mające na celu opracowanie i wdrożenie metod ograniczenia występowania akrylamidu w szeregu rodzajów żywności przy zachowaniu cech sensorycznych tradycyjnych wyrobów.

D. Rachwał, E. Nebesny

REDUCTION OF ACRYLAMIDE CONTENT IN FOOD PRODUCTS

PIŚMIENNICTWO

1. Tareke E., Rydberg P., Karlsson P., Eriksson S., Tornqvist M.: Analysis of Acrylamide, a Carcinogen Formed in Heated Foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.*, 2002; 50: 4998-5006. – 2. Zalecenie Komisji z dnia 2 czerwca 2010 r. w sprawie monitorowania poziomów akryloamidu w żywności (Tekst mający znacze-

nie dla EOG) (2010/307/UE) KOMISJA EUROPEJSKA uwzględniając Traktat o funkcjonowaniu Unii Europejskiej, w szczególności jego art. 292. – 3. *Rice J.M.*: The carcinogenicity of acrylamide. Mutation Research, 2005; 580: 3-20. – 4. *Amrein T.M., Schonbachler B., Escher F., Amado R.*: Acrylamide gingerbread: critical factors for formation and possible ways for reduction. J. Agric. Food Chem., 2004; 52: 4282-4288. – 5. *Friedman M., Levin C.E.*: Review of methods for the reduction of dietary content and toxicity of acrylamide. J. Agric. Food Chem., 2008; 56: 6113-6140. – 6. *Surdyk N., Rosén J., Andersson R., Aman P.*: Effects of asparagine, fructose, and baking conditions on acrylamide content in yeast-leavened wheat bread. J. Agric. Food Chem., 2004; 52: 2047-2051. – 7. *Claus A., Carle R., Schieber A.*: Acrylamide in cereal products: A review. J. Cereal Science, 2008; 47: 118-133. – 8. *Becalski A., Lau B.P.Y., Lewis D. Seaman S.W.*: Acrylamide in foods: occurrence, sources, and modeling. J. Agric. Food Chem., 2003; 51: 802-808. – 9. *Mottram D.S., Wedzicha B., Dodson A.T.*: Acrylamide is formed in the Maillard reaction. Nature, 2002; 419: 448-449. – 10. *Gertz Ch., Klostermann S.*: Analysis of acrylamide and mechanism of its formation in deep-fried products. Eur. J. Lipid Sci. Technol., 2002; 104: 762-771.

11. *Claeys W. L., Vleeschouwer K., Hendrickx M.E.*: Quantification the formation of carcinogens during food processing: acrylamide. Trends Food Sci. Technol., 2005; 16: 181-193. – 12. *Springer M., Fischer T., Lehrack A., Freund W.*: Development of acrylamide in baked products. Getreide., 2003; 57: 274-278. – 13. *Jung M.Y., Choi D.S., Ju J.W.*: Novel technique for limitation of acrylamide formation in fried and baked corn chips and in French fries. J. Food Sci., 2003; 68: 1287-1290. – 14. *Hu Ch., Zhang Y., Kitts D.D.*: Evaluation of antioxidant and prooxidant activities of bamboo *Phyllostachysnigra* Var. *Henonis* leaf extract in vitro. J. Agric. Food Chem., 2000; 48: 3170-3176. – 15. *Lou D.D., Zhang Y., Wu X.Q., Qi J.J., Zhuo Y.*: Application of antioxidant of bamboo leaves (AOB) in *Weixin* western sausages. Chin. Food Fermentat. Ind., 2004; 30: 13-17. – 16. *Zhang Y., Chang J., Zhang X., Wu X., Zhang Y.*: Addition of antioxidant of bamboo leaves (AOB) effectively reduces acrylamide formation in potato crisps and french fries. J. Agric. Food Chem., 2007; 55: 523-528. – 17. *Zhang Y., Xu W., Wu X., Zhang X., Zhang Y.*: Addition of antioxidant from bamboo leaves as an effective way to reduce the formation of acrylamide in fried chicken wings. Food Additives and Contaminants, 2007; 24: 242-251. – 18. *Gramzaa A., Khokharb S., Yokob S., Gliszczynska-Swigloc A., Hesa M., Korczaka J.*: Antioxidant activity of tea extracts in lipids and correlation with polyphenol content. Eur. J. Lipid Sci. Technol., 2006; 108: 351-362. – 19. *Capuano E., Ferrigno A., Acampa I., Serpen A., Açar O., Gökmen V., Fogliano V.*: Effect of flour type on Maillard reaction and acrylamide formation during toasting of bread crisp model systems and mitigation strategies. Food Res. Int., 2009; 42: 1295-1302. – 20. *Ciesarova Z., Suhaj M., Horvathova J.*: Correlation between acrylamide contents and antioxidant capacities of spice extracts in a model potato matrix. J. Food Nutr. Res., 2008; 47: 1-5.

21. *Arribas-Lorenzo G., Fogliano V., Francisco J., Morales F.J.*: Acrylamide formation in a cookie system as influenced by the oil phenol profile and degree of oxidation. Eur. Food Res. Technol., 2009; 229: 63-72. – 22. *Kotsiou K., Tasioula-Margari M., Capuano E., Fogliano V.*: Effect of standard phenolic compounds and olive oil phenolic extracts on acrylamide formation in an emulsion system. Food Chemistry, 2011; 124: 242-247. – 23. *Bassama J., Brat P., Bohuon P., Boulanger R., Günata Z.*: Study of acrylamide mitigation in model system: effect of pure phenolic compounds. Food Chemistry, 2010; 123: 558-562. – 24. *Ou S., Shi J., Huang C., Zhang G., Teng J., Jiang Y., Yang B.*: Effect of antioxidants on elimination and formation of acrylamide in model reaction systems. Journal of Hazardous Materials, 2010; 182: 863-868. – 25. *Wedzicha B.L., Mottram, D.S., Elmore J. S., Koutsidis G., Dodso, A.T.*: Kinetic models as a route to control acrylamide formation in food. Adv. Exp. Med. Biol., 2005; 561: 235-253. – 26. *Brathen, E., Kita A., Knutsen S. H., Wicklund T.*: Addition of glycine reduces the content of acrylamide in cereal and potato products. J. Agric. Food Chem., 2005; 53: 3259-3264. – 27. *Mustafa A., Fink M., Kamal-Eldin A., Rosén J., Andersson R., Aman P.*: Interaction effects of fermentation time and added asparagine and glycine on acrylamide content in yeast-leavened bread. Food Chemistry; 2009; 112: 767-774. – 28. *Rydberg P., Eriksson S., Tareke E., Karlsson P., Ehrenberg L., Tornqvist M.*: Investigations of factors that influence the acrylamide content of heated foodstuffs. J. Agric. Food Chem., 2003; 51: 7012-7018. – 29. *Koutsidis G. Simons S.P.J., Thong Y.H., Haldoupis Y., Mojica-Lazaro J., Wedzicha B.L., Mottram D.S.*: Investigations on the effect of amino acids on acrylamide, pyrazines, and Michael addition products in model systems. J. Agric. Food Chem., 2009; 57: 9011-9015. – 30. *Vattem D.A., Shetty K.*: Acrylamide in food: a model for mechanism of formation and its reduction. Inn. Food Science Emergency Technology, 2003; 4: 331-338.