

Kacper Pyrzanowski, Jaromir Michałowicz, Daria Pingot, Bożena Bukowska

CHARAKTERYSTYKA METOD BIOLOGICZNYCH, CHEMICZNYCH I FIZYCZNYCH OGRANICZAJĄCYCH OBECNOŚĆ AKRYLAMIDU W ŻYWNOŚCI

Katedra Biofizyki Skażeń Środowiska, Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska
Uniwersytetu Łódzkiego

Kierownik: prof. dr hab. *M. Koter-Michalak*

Słowa kluczowe: akrylamid, żywność, modyfikacja chemiczna, asparaginaza.
Key words: acrylamide, food, chemical modification, asparaginase.

Odkrycie akrylamidu w żywności bogatej w węglowodany spowodowało znaczny wzrost zainteresowania naukowców tym związkiem. Z uwagi na wysoce prawdopodobną toksyczność akrylamidu, jego obecność w żywności wywołała niepokój związany z potencjalnym zagrożeniem dla zdrowia populacji ogólnej i doprowadziła do zainicjowania szerokich i interdyscyplinarnych badań nad tym związkiem (1, 2). Zaczęto badać drogi powstawania akrylamidu w produktach żywnościowych, obecność w organizmach ludzi oraz tworzenie adduktów z akrylamidem i jego wpływ na organizm człowieka.

Stwierdzono, że akrylamid tworzy się w reakcji Maillarda zwanej również reakcją nieenzymatycznego brunatnienia, zachodzącą pomiędzy cukrem redukującym a aminokwasami szczególnie asparaginą, powstaje także w wyniku enzymatycznej dekarboksylacji asparaginy, bez udziału cukru redukującego oraz z glicerolu zawartego w tłuszczach podczas ich pieczenia i smażenia (2).

Wykazano, że szereg czynników ma wpływ na jego zawartość w produktach spożywczych. Są to: obecność cukrów redukujących i asparaginy w prekursorach produktów żywnościowych (np. w ziemniakach, zbożach, olejach), wilgotność i temperatura przetwarzania żywności, wartość pH, obecność antyoksydantów i kationów metali oraz sposób przetwarzania produktów spożywczych (2, 3, 4, 5).

Informacje te spowodowały, że organizacje międzynarodowe jak również liczne ośrodki naukowe zaczęły podejmować działania i opracowywać sposoby prowadzące do obniżania poziomu akrylamidu w żywności (3, 4).

Działania zaproponowane przez Wspólny Komitet Ekspertów FAO/WHO ds. Dodatków do Żywności i Zanieczyszczeń zakładają eliminację akrylamidu na trzech różnych etapach. Pierwszym z nich jest pozbycie się akrylamidu poprzez usunięcie reagentów lub zmniejszenie ich ilości (asparagina, cukry redukujące). Drugi z nich zakłada pozbycie się akrylamidu na drodze zakłócenia przebiegu reakcji jego syntezy. Należy zwrócić uwagę na takie czynniki, jak temperatura, czas reakcji czy wzmaganie aktywności enzymu asparaginazy. Trzeci etap obejmuje czynności, które można przeprowadzić już po procesie przetworzenia termicznego żywności. Po-

dejmując się wiele prób, które mają na celu usunięcie powstałego już związku, ale jak dotąd żadna z nich nie przynosiła pozytywnego rezultatu (3).

Konfederacja Żywności i Napojów UE (CIAA) przedstawiła kilkanaście procesów odpowiedzialnych za tworzenie się akrylamidu. Umożliwiło to stworzenie zaleceń, dzięki którym producenci żywności mogą podjąć próby obniżenia zawartości akrylamidu powstałego podczas gotowania, pieczenia i smażenia. Zaleca się ingerencję na etapie agronomicznym, recepturowym oraz procesowym (4). Zalecenia tej organizacji obejmują stosowanie licznych metod dotyczących eliminacji akrylamidu poprzez zmiany parametrów fizycznych i chemicznych tj. temperatury, czasu obróbki, wilgotności, wartości pH oraz składu chemicznego przetwarzanych produktów.

METODY ZMNIEJSZAJĄCE POZIOM AKRYLAMIDU W ŻYWNOSCI

Do chwili obecnej zaproponowano już kilkanaście sposobów zmniejszających poziom akrylamidu opartych na metodach: biologicznych, chemicznych i fizycznych (ryc. 1).

Modyfikacja żywności – dobór odpowiednich składników produktów żywnościowych i sposób uprawy roślin

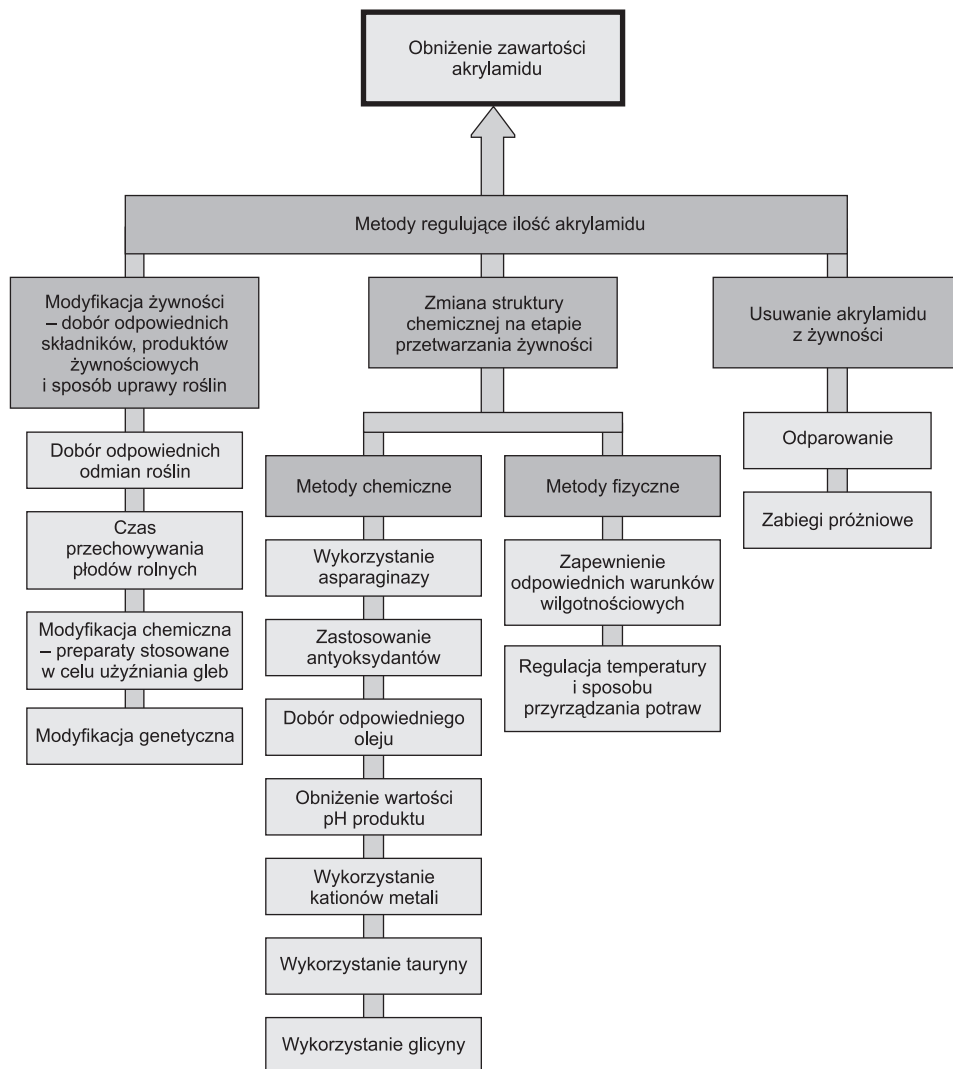
Modyfikacja chemiczna – preparaty stosowane w celu użyźnienia gleb

Za zwiększenie stężenia prekursorów akrylamidu w żywności mogą być również odpowiedzialne preparaty stosowane w celu użyźnienia gleb, na których uprawiane są płody rolne. Rośliny, gdy nie są w stanie wykorzystywać dostępnego azotu do syntezy białka, włączają go częściowo do syntezy wolnego aminokwasu asparaginy. Proces ten wzmagany jest w wyniku ekspozycji roślin na toksyczne metale ciężkie (np. kadm), suszę, zasolenie lub atak patogenów (5). Ponadto, brak składników takich, jak: związki potasu, siarki, fosforu i magnezu, przy podwyższonej dostępności azotu, powoduje wbudowywanie tego pierwiastka w asparaginę.

Stwierdzono, że stosowanie nawozów zawierających siarkę takich, jak siarczan amonu lub superfosfat wzbogacony trójtlenkiem siarki, przyczyniają się w znacznym stopniu do redukcji stężenia asparaginy w zbożach i ziemniakach, a tym samym do obniżenia końcowego poziomu akrylamidu w produktach żywnościowych z nich wytwarzanych (6). Stwierdzono, że w warunkach silnego niedoboru związków siarki, asparagina może zwiększyć swoje stężenie 30-krotnie. Nawożenie upraw pszenicy związkami siarki na poziomie 40 kg/ha powoduje ok. 30% zmniejszenie poziomu akrylamidu w mące z niej wytwarzanej w porównaniu do nawożenia upraw tymi preparatami w ilości 10 kg/ha (6).

Dobór odpowiednich odmian roślin

Wiele przeprowadzonych badań sugeruje, że dobór odpowiednich odmian zbóż i ziemniaków skutkować może znacznym zmniejszeniem poziomu akrylamidu



Ryc. 1. Sposoby obniżające zawartość akrylamidu w produktach żywnościowych

w przetworzonej żywności. Poszczególne odmiany tych roślin odznaczają się m.in. różnym poziomem asparaginy, głównego prekursora akrylamidu. Ograniczanie zawartości prekursorów akrylamidu można osiągnąć poprzez zastąpienie w wyrobach piekarskich np. mąki ryżowej mąką pszenną czy też wyeliminowanie mąki o wysokim przemieale (bogatej w asparaginę) (2).

Czas przechowywania owoców rolnych

Na ilość powstającego akrylamidu podczas obróbki żywności ma wpływ czas przechowywania owoców rolnych (np. ziemniaków). Wykazano bowiem, że ilość

cukru redukującego (glukozy) wraz z czasem przechowywania ziemniaków zwiększa się, tym samym zwiększa się ilość akrylamidu, który może powstawać w jego obecności. Aby zmniejszyć stężenie tego związku należy więc korzystać z ziemniaków świeżych, a nie z przechowywanych (3, 7, 8).

Modyfikacja genetyczna

Modyfikacje genetyczne żywności mające na celu zmniejszenie poziomu akrylamidu skupiają się głównie na ograniczeniu stężenia asparaginy w roślinach. Asparagina nie można całkowicie wyeliminować z roślin, ponieważ jest ona niezbędna do zapewnienia prawidłowego przebiegu syntezy białek. Dlatego nie ma możliwości wyhodowania rośliny, która będzie całkowicie pozbawiona tego aminokwasu. Biosynteza asparaginy w roślinie może zachodzić dzięki obecności dwóch enzymów: syntetazy glutaminy i syntetazy asparaginy. W pierwszym etapie katalizowanym przez syntetazę glutaminy następuje asymilacja amoniaku i przyłączenie go do glutaminianu w wyniku czego powstaje glutamina. Glutamina będąca źródłem azotu wykorzystywana jest do syntezy asparaginy, a reakcja ta wymaga udziału enzymu syntetazy asparaginy. Ponadto, dwa inne enzymy konkurujące ze sobą o substrat (asparaginę) są ważne w przekształceniach powstałej asparaginy. Jest to enzym asparaginaza, który katalizuje hydrolizę powstałej asparaginy do asparaginianu i amoniaku oraz kinaza asparaginianowa, która przekształca asparaginian w *aspartylo-4-fosforan*, będący prekursorem aminokwasów takich, jak metionina, leucyna, lizyna, i izoleucyna (9).

Geny kodujące enzymy uczestniczące w przemianach asparaginy są potencjalnym celem genetycznej modyfikacji, a tym samym redukcji stężenia asparaginy w produktach roślinnych. Zmiana ekspresji genu syntetazy asparaginy okazała się być skuteczna w zmniejszaniu powstawania akrylamidu w ziemniakach (10).

Zmiana struktury chemicznej żywności na etapie przetwarzania żywności

Zapewnienie odpowiednich warunków wilgotnościowych – wykorzystanie asparaginazy

Istnieją określone zależności pomiędzy zawartością wody a ilością powstającego akrylamidu. Akrylamid nie tworzy się gdy nawodnienie pokarmu wynosi powyżej 80%, natomiast powstaje w maksymalnym stężeniu przy wilgotności pokarmu sięgającej 40% (11). Wykazano istnienie zależności między poziomem wilgotności, a aktywnością asparaginazy (aminohydrolazy L-asparaginy) katalizującej hydrolizę asparaginy do kwasu asparaginowego i amoniaku. Tym samym reakcja ta skutkuje obniżeniem ilości asparaginy, która jest prekursorem w powstawaniu akrylamidu (12), przy czym zastosowanie asparaginazy nie ma wpływu na właściwości fizyczne produktu takie, jak smak, zapach czy barwę (13). Badania przeprowadzone przez *Pedreschi* i współpracowników (14) wykazały, że plastry ziemniaczane, które przed procesem smażenia zostały blanszowane w gorącej wodzie, zawierają do 90% mniej akrylamidu niż plastry ziemniaków smażone bezpośrednio. Dzięki procesowi blanszowania dochodzi do niewielkich zmian w mikrostrukturze tkanki ziemniaka. Proces ten skutkuje bardziej równomiernym rozmieszczeniem asparaginy w produkcie i zwiększeniem aktywności asparaginazy.

Regulacja temperatury i sposobu przyrządzania potraw

Wzrost temperatury reakcji powoduje zwiększenie intensywności powstawania akrylamidu. Największa ilość tego związku powstaje w żywności pod wpływem procesów cieplnych takich, jak: smażenie ziemniaków, prażenie ziaren kakao i kawy, wypiek chleba i ciast, obróbka termiczna surowców zbożowych (np. płatków śniadaniowych), czy też pieczenie mięsa. Temperatura tych procesów (powyżej 120°C) ma decydujący wpływ na ilość powstającego akrylamidu (15). Badania *Tajner-Czopek* i wspólr. (16) wykazały, że w zależności od zastosowanej temperatury smażenia poziomy akrylamidu we frytkach wahały się od 15 do 567 µg/kg. Frytki smażone w oleju o temp. 190°C odznaczały się najwyższą zawartością tego związku, natomiast ograniczenie temp. smażenia o 15°C (ze 190°C do 175°C) spowodowało obniżenie ilości akrylamidu o ponad 30%. Grillowanie ziemniaków powoduje powstanie znacznie większej ilości akrylamidu niż ich pieczenie czy smażenie, natomiast gotowanie ziemniaków skutkuje powstaniem tylko śladowych ilości tego związku nieprzekraczających 30 µg/kg produktu (17).

Sposób przyrządzania potraw oraz temperatura znacząco wpływają na poziom powstającego akrylamidu. Z badań przeprowadzonych przez *Michalak* i wspólr. (18) wynika, że wykorzystanie promieniowania mikrofalowego w celu przyrządzenia potraw z ziemniaków powoduje powstanie mniejszej zawartości akrylamidu w porównaniu z konwencjonalnymi sposobami przyrządzania potraw takich, jak smażenie i pieczenie (przy zachowaniu takiego samego czasu ekspozycji oraz temperatury). Także badania *Gielecińskiej* i wspólr. (19) wykazują, że najniższą zawartością akrylamidu odznaczają się frytki przygotowane w kuchence mikrofalowej (292 µg/kg), natomiast najwyższą frytki smażone we frytkownicy (1534 µg/kg).

Zastosowanie antyoksydantów

Rachwał i Nebesny (20) na podstawie przeglądu literatury opisują, że antyoksydanty mogą ograniczać obecność akrylamidu w żywności. Związki o charakterze antyoksydacyjnym to przede wszystkim flawonoidy i kwasy fenolowe takie, jak np.: kwas ferulowy, galusowy, kawowy, kumarowy, cynamonowy, katechina, epikatechina i inne. Związki te, obecne są w wielu produktach i przyprawach takich jak liście bambusa, zielona herbata, rozmaryn, ziele angielskie, majeranek, oregano, oliwa z oliwek itd.

Ou i wspólr. (21) badając wpływ przeciwutleniaczy takich, jak witamina C oraz pochodne fenolowe: t-butylohydrochinon (TBHQ), butylohydroksyanizol (BHA), butylohydroksytoluen (BHT), kwas ferulowy czy galusan epigalokatechiny oraz odpowiadające im produkty utleniania pod kątem hamowania tworzenia akrylamidu, wykazali, że ważną rolę odgrywa forma zastosowanego antyoksydantu – utleniona lub zredukowana oraz stabilność tych form. Autorzy powyższej pracy wykazali w układzie chemicznym, że formy utlenione badanych antyoksydantów (głównie kwasu ferulowego, witaminy C i t-butylohydrochinonu) są bardziej efektywne w degradacji akrylamidu i hamowaniu jego powstawania niż ich formy zredukowane. Zaobserwowali także, że występuje pozytywna korelacja pomiędzy stężeniem grup karbonylowych i tworzeniem akrylamidu w żywności. Badacze Ci zasugerowali, że przeciwutleniacze mogą hamować powstawanie akrylamidu w procesach wy-

sokotemperaturowego przetwarzania żywności poprzez: degradację akrylamidu przez formy utlenione antyoksydantów, powstawanie z antyoksydantów chinonów lub związków karbonylowych reagujących następnie z asparaginą i w konsekwencji hamujących powstawanie akrylamidu. Efekt hamowania w tym przypadku zależy głównie od szybkości utleniania się antyoksydantów i ich reakcji z asparaginą.

Kotsiou i współpracownicy (22) badali wpływ związków fenolowych takich jak Trolox, kwasy fenolowe (ferulowy, galusowy, protokatechusowy i kawowy) i polifenoli obecnych w oliwie na zdolność tworzenia się akrylamidu w systemie emulsji. Wykazali prawie 70% zmniejszenie powstawania tej substancji w temp. 125°C pod wpływem badanych antyoksydantów. Kwasy protokatechusowy i galusowy były bardziej efektywne niż Trolox oraz kwas kawowy i kwas ferulowy. Stwierdzili, że dodanie polifenoli obecnych w oliwie nie spowodowało zmniejszenia poziomu powstającego akrylamidu w systemie emulsji, co prawdopodobnie wiązało się z obecnością reszt karbonylowych, powstających z kwasów tłuszczowych obecnych w badanym tłuszczu. Ponadto, obecność grup hydroksylowych, jak i grup aldehydowych zawartych w oliwie wpływa na wzrost stężenia tworzącego się akrylamidu.

Badania *Kity* i współpracownicy (23) wykazały, że dodanie antyoksydanta butylohydroksychinonu oraz kwasu cytrynowego w różnych proporcjach do olejów smażalniczych nie wpływało korzystnie na poziom akrylamidu. Obserwowano, że mniejszą zawartością akrylamidu odznaczały się produkty smażone w olejach palmowych stabilizowanych jednym przeciwutleniaczem bądź bez dodatku przeciwutleniacza. Związane mogło to być z nieznacznym efektem ochronnym antyoksydantów, o czym świadczyły wyniki analiz chemicznych oleju.

Dobór odpowiedniego oleju

Innym sposobem umożliwiającym obniżenie zawartości akrylamidu w żywności jest dobranie odpowiedniego rodzaju oleju. Smażenie ziemniaków przy użyciu oliwy z oliwek powoduje powstanie znacznie większej ilości akrylamidu w porównaniu z użyciem oleju kukurydzianego (24) podobnie zastosowanie oleju słonecznikowego w porównaniu do oleju palmowego podwyższa stężenie tego związku (25). Nie tylko rodzaj oleju ma wpływ na powstawanie akrylamidu, ale również sposób jego otrzymania. Chrupki, które były smażone na oleju kukurydzianym rafinowanym miały 22% niższą zawartość akrylamidu niż te, które były przygotowywane na oleju kukurydzianym tłoczonym na zimno (26).

Kita i współpracownicy (23) wykazały z kolei, że ważną rolę w powstawaniu akrylamidu we frytkach ziemniaczanych odgrywa stopień degradacji medium smażalniczego zależny od czasu stosowania danego oleju. Niezależnie od rodzaju tłuszczu smażalniczego w kolejnych okresach smażenia obserwowano stopniowe zwiększanie ilości powstającego akrylamidu.

Obniżenie wartości pH produktu

Jednym z popularniejszych i najczęściej stosowanych środków ograniczania zawartości akrylamidu jest zakwaszanie produktów bogatych w węglowodany przed poddaniem ich przetworzeniu termicznemu, którym jest smażenie. Jak wykazały badania, wartość pH, która przyczynia się do tworzenia największej ilości tej substancji mieści się w granicach od 7 do 8. W momencie gdy wartość pH zostanie

obniżona do 3–4 można zaobserwować nawet 99% spadek poziomu akrylamidu (26). Zwiększenie kwasowości produktu poprzez dodanie kwasu solnego, cytrynowego czy winnego powoduje zmniejszenie tworzenia się akrylamidu, a ponadto przyczynia się do degradacji powstałego już związku (11).

Wykorzystanie kationów metali

Jedną z metod zapobiegających tworzeniu się akrylamidu jest wykorzystanie jedno-, dwu- i trójwartościowych kationów metali, a w szczególności jonów sodu i wapnia. Przeprowadzone badania wykazały, że kationy te są w stanie zmniejszyć ilość tworzącego się akrylamidu podczas obróbki cieplnej żywności. Dodanie kationów wapnia (w postaci CaCl_2) do ciasta chlebowego zmniejsza ilość powstającego akrylamidu o ok. 35%. Wykazano także, że dodanie do równomolowej mieszaniny asparaginy i glukozy, równomolowych ilości jedno- dwu- i trójwartościowych kationów takich, jak: K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} i Fe^{3+} skutkowało aż 97% zmniejszeniem zawartości akrylamidu (18).

Açar i współpr. (27) wykazali, że związki wapnia zmniejszają powstawanie akrylamidu i zasugerowali, że jest to efekt hamowania pierwszego etapu syntezy akrylamidu, a mianowicie tworzenia zasady Schiffa pomiędzy grupą karbonylową węglowodanów i α -aminową asparaginy.

Wykorzystanie tauryny

Innym bardzo obiecującym sposobem umożliwiającym zmniejszenie zawartości akrylamidu w żywności jest metoda wykorzystująca taurynę. Związek ten jest aminokwasem biogennym, produktem końcowym degradacji cysteiny, posiadający zamiast grupy karboksylowej grupę sulfonową. Z badań przeprowadzonych przez południowokoreańskich naukowców wynika, że tauryna posiada zdolność hamowania tworzenia się akrylamidu w żywności (w badaniu wykorzystywano chipsy ziemniaczane). Niestety, nie udało się jeszcze poznać mechanizmu, który za ten proces odpowiada (28).

Reakcja Michaela (wykorzystanie glicyny)

Jednym z zaproponowanych sposobów eliminacji akrylamidu z żywności jest reakcja *Michaela*. Reakcja ta zachodzi w obecności wody oraz w wysokiej temp. 150°C pomiędzy akrylamidem i glicyną. W wyniku tej reakcji dochodzi do utlenienia glicyny i zmniejszenia zawartości akrylamidu w żywności. Badania *Mustafa* i współpr. (29) wskazują, że obniżenie stężenia akrylamidu jest związane głównie z obecnością asparaginy w żywności i stosunkiem tej zawartości względem glicyny. Jak sugerują badacze, efekt ten może wiązać się z konkurencją pomiędzy glicyną a asparaginą o reakcję z cukrami redukującymi.

Usuwanie akrylamidu z żywności

Odparowanie

Sposobem eliminacji akrylamidu z żywności jest odparowanie go wraz z wodą. Badania przeprowadzone przez dwóch tureckich naukowców *Gökmen* i *Palazodlu* (30) wykazały, że określona ilość akrylamidu ulega odparowaniu z żywności wraz

z parą wodną jednak ilość ta wydaje się być zbyt mała, aby można było oczekiwać, że sposób ten będzie przydatny i powszechnie wykorzystywany w celu usuwania akrylamidu z żywności. Ważną przesłanką, która dyskredytuje ww. procedurę jest fakt, że akrylamid wraz z parą wodną przedostaje się do powietrza, co może spowodować narażenie na tę substancję osób pracujących przy przygotowywaniu potraw.

Zabiegi próżniowe

Jedną z metod eliminacji akrylamidu z żywności wykorzystującą właściwości fizyczne produktu jest poddanie go zabiegom próżniowym. Analizy przeprowadzone na ciastkach oraz chipsach z wykorzystaniem różnych kombinacji ciśnienia, temperatury oraz czasu ekspozycji na temperaturę wykazały, że dzięki zabiegom próżniowym można usunąć 18% akrylamidu z chipsów i aż 48% tej substancji z ciastek. Jednakże, eliminacja akrylamidu możliwa jest jedynie po uprzednim uwodnieniu produktów (30).

PODSUMOWANIE

W wyniku termicznej obróbki produktów mogą tworzyć się w nich szkodliwe substancje chemiczne, które mają znaczący wpływ na funkcjonowanie i stan naszego organizmu. Jedną z takich substancji, która może wywierać potencjalny wpływ na zdrowie i życie człowieka, jest akrylamid. Związek ten, może powstać podczas termicznego przetwarzania niektórych produktów żywnościowych. Jest to substancja, która w pierwotnej postaci uznana została za związek neurotoksyczny, genotoksyczny i kancerogenny (grupa 2A). Wykrycie akrylamidu w żywności spowodowało konieczność poszukiwania sposobów jego eliminacji. Obecnie istnieją liczne sposoby mające na celu zmniejszenie zawartości akrylamidu w żywności. Dotyczą one nie tylko uprawy i przechowywania surowców, ale także ich przetwarzania. Oparte są głównie na zmniejszeniu ilości cukrów redukujących – prekursorów grup karbonylowych, a także obniżeniu zawartości głównego substratu w reakcji tworzenia akrylamidu – asparaginy.

Obniżenie akrylamidu w żywności obejmuje modyfikację chemiczną i genetyczną roślin wykorzystywanych jako produkty żywnościowe, zmianę struktury chemicznej żywności na etapie jej przetwarzania oraz metody usuwające powstały już akrylamid.

K. Pyrzanowski, J. Michałowicz, D. Pingot, B. Bukowska

CHARACTERISTICS OF BIOLOGICAL, CHEMICAL AND PHYSICAL STRATEGIE
AND METHODS REDUCING THE PRESENCE OF ACRYLAMIDE IN FOOD

PIŚMIENNICTWO

1. Dybing E., Farmer P.B., Andersen M., Fennell T.R., Lalljie S.P.D., Müller D.J.G., Olin S., Petersen B.J., Schlatter J., Scholz G., Scimeca J.A., Slimani N., Törnqvist M., Tuijelaars S., Verger P.: Human exposure and internal dose assessments of acrylamide in food. *Food Chem. Toxicol.* 2005;43: 365-410.
- 2. Żyżelewicz D., Nebesny E., Oracz J.: Akrylamid – Powstawanie, właściwości fizykochemiczne i bio-

logiczne. *Bromat. Chem. Toksykol.*–XLIII, 2010; 3: 415-427. – 3. Joint FAO/WHO food standards programme codex committee on food additives and contaminants. Discussion Paper on Acrylamide. Thirty-sixth Session Rotterdam, The Netherlands, 22-26 March 2004. – 4. The CIAA, Food Drink Europe „Acrylamide Toolbox 2011”; 30 September 2011. – 5. *Lea P.J., Sodek L., Parry M.A., Shewry P.R., Halford N.G.*: Asparagine in plants. *Annals of Applied Biology* 2007; 150, 1-26. – 6. *Muttucumaru N., Halford N.G., Elmore J.S., Dodson A.T., Parry M., Shewry P.R., Mottram D.S.*: The formation of high levels of acrylamide during the processing of flour derived from sulfate-deprived wheat. *J. Agric. Food Chem.* 2006; 54: 8951-8955. – 7. *Halford N.G., Curtis T.G., Muttucumaru N., Jennifer Postles J., Elmore J.S., Mottram D.S.*: The acrylamide problem: a plant and agronomic science issue. *J. Exp. Botany.* 2012; 63(8): 2841-2851. – 8. *Anese M., Suman M., Nicoli M.C.*: Acrylamide removal from heated foods. *Food Chem.* 2010; 119: 791-794. – 9. *Halford N.G., Curtis T.Y., Muttucumaru N., Postles J., Elmore J.S., Mottram D.S.*: The acrylamide problem: a plant and agronomic science issue. *J. Exp. Bot.*, 2012; 63(8): 2841-2851. – 10. *Rommens C.M., Yan H., Swords K., Richael C., Ye J.*: Low acrylamide French fries and potato chips. *Plant Biotechnol. J.* 2008; 6: 843-853.

11. *Keramat J., LeBail A., Prost C., Jafari M.*: Acrylamide in Baking Products: A Review Article. *Food Bioprocess Technol.* 2011; 4: 530-543. – 12. *Capuano E., Fogliano V.*: Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT–Food Sci. Technol.* 2011; 44: 793-810. – 13. *Anese M., Quarta B., Frias J.*: Modelling the effect of asparaginase in reducing acrylamide formation in biscuits. *Food Chem.* 2011; 126: 435-440. – 14. *Pedreschi F., Mariotti S., Granby K., Risum J.*: Acrylamide reduction in potato chips by using commercial asparaginase in combination with conventional blanching. *LWT–Food Sci. Technol.* 2011; 44: 1473-1476. – 15. *Orzel D., Biernat J.*: Furan i akrylamid w żywności. *Bromat. Chem. Toksykol.* 2011; 44(3): 225-232. – 16. *Tajner-Czopek A., Kita A., Lisińska G.*: Zawartość akrylamidu we frytkach w zależności od temperatury i czasu smażenia. *Zesz. Probl. Post. NaukRoln.*, 2008; 530: 371-379. – 17. *Sevensson K., Abramsson L., Becker W., Glynn A., Hwllénäs K.E., Lind Y., Rosén J.*: Dirty intake of acrylamide in Sweden. *Food Chem. Toxicol.* 2003; 41: 1581-1586. – 18. *Michalak J., Gujska E., Klepacka J.*: The Effect of Domestic Preparation of Some Potato Products on Acrylamide Content. *Plant Foods Hum. Nutr.* 2011; 66: 307-312. – 19. *Gielecińska I., Mojska H., Walecka K.*: Ocena wpływu różnych rodzajów obróbki termicznej na zawartość akrylamidu we frytkach ziemniaczanych. *Rocz. PZH*, 2009; 60(2): 121-124. – 20. *Rachwał D., Nebesny E.*: Redukcja zawartości akrylamidu w produktach spożywczych. *Bromat. Chem. Toksykol.* 2012; 45(2): 219-227.

21. *Ou S., Shia J., Huang C., Zhang G., Tenga J., Jianga Y., Yanga B.*: Effect of antioxidants on elimination and formation of acrylamide in model reaction systems. *J. Hazard. Mat.* 2010; 182: 863-868. – 22. *Kotsiou K., Tasioula-Margari M., Capuano E., Fogliano F.*: Effect of standard phenolic compounds and olive oil phenolic extracts on acrylamide formation in an emulsion system. *Food Chem.* 2011; 124: 242-247. – 23. *Kita A., Tajner-Czopek A., Pęksa A., Rytel E., Lisińska G.*: Wpływ dodatku przeciwutleniaaczy do oleju smażalniczego na zawartość akrylamidu w smażonych produktach ziemniaczanych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2011; 5(78): 37-46. – 24. *Becalski A., Lau B.P., Lewis D., Seaman S.W.*: Acrylamide in foods: occurrence sources, and modeling. *J. Agric. Food Chem.* 2003; 51: 802-808. – 25. *Tajner-Czopek A., Kita A., Lisińska G.*: Wpływ typu oleju na zawartość akrylamidu oraz barwę smażonych produktów przekąskowych. *Bromat. Chem. Toksykol.* 2009; 42(3): 498-502. – 26. *Shaikh M.B., Tarade K.M., Bharadwaj V. R., Annapure U.S., Singhal R.S.*: Effect of an alkaline salt (papadkhar) and its substitute (2:1 sodium carbonate:sodium bicarbonate) on acrylamide formation in papads. *Food Chem.* 2009; 113: 1165-1168. – 27. *Açar Ö.Ç., Pollio M., Di Monaco R., Fogliano V., Gökmen V.*: Effect of Calcium on Acrylamide Level and Sensory Properties of Cookies. *Food Bioprocess Technol.* 2012; 5: 519-526. – 28. *Shin D.C., Kim C.T., Lee Y.C., Choi W.J., Na Y.J., Lee K.W.*: Reduction of acrylamide by taurine in aqueous and potato chip model systems. *Food Res. Int.* 2010; 43: 1356-1360. – 29. *Mustafa A., Fink M., Kamal-Eldin A., Ros 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. – 30. *Gökmen V., Palazodlu T.K.*: Measurement of evaporated acrylamide during frying of potatoes: Effect of frying conditions and surface area-to-volume ratio. *J. Food Eng.* 2009; 93: 172-176.