

ARTUR CIEMNIAK, LUCYNA CHRĄCHOL

WIELOPIERŚCIENIOWE WĘGLOWODORY AROMATYCZNE (WWA) W ZBOŻOWYCH PRODUKTACH ŚNIADANIOWYCH

POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS (PAH) IN CEREAL BREAKFAST PRODUCTS

Katedra Toksykologii
Wydział Nauk o Żywności i Rybactwa
Akademia Rolnicza w Szczecinie
71 – 459 Szczecin, ul. Papieża Pawła VI/3
e-mail: arthur@tz.ar.szczecin.pl
Kierownik Katedry: prof. dr hab. M. Protasowicki

Przeprowadzono analizę wybranych zbożowych produktów śniadaniowych pod kątem zawartości w nich 16 WWA. Analizy wykonano techniką chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas (GC-MS). Część badanych produktów zawierała benzo[a]piren (BaP) w ilościach przekraczających obowiązujące wymagania.

Słowa kluczowe: wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, WWA, benzo[a]piren
Key words: polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH, benzo[a]pyrene

WSTĘP

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) są grupą powszechnie spotykanych związków kancerogennych złożonych z dwu lub więcej sprzężonych pierścieni aromatycznych. Powstają w wyniku procesów niepełnego spalania (pirolizy) materii organicznej. Ich obecność w środowisku jest efektem naturalnie zachodzących w nim procesów (pożary, działalność wulkaniczna) oraz działalności przemysłowej człowieka. Są związkami wykazującymi silne działanie rakotwórcze. Działanie to zostało zauważone już w 1775 przez *Percivalla Pootta* [1], który opisał częste przypadki występowania raka moszny u kominarzy i powiązał je z ich kontaktem z sadzą. Doświadczenia na zwierzętach potwierdzają zdolność WWA do wywoływania nowotworów [2]. Przyjmuje się, że związki te wykazują równie silne działanie rakotwórcze, także u ludzi, co potwierdzają badania kliniczne [3].

W przypadku osób nienarażonych zawodowo na kontakt z WWA, głównym źródłem narażenia jest palenie papierosów oraz żywność [11]. Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w żywności zmienia się w bardzo szerokim zakresie, zależnie od źródła jej pochodzenia oraz obróbki, jakiej ją poddawano. WWA przedostają się do żywności dwiema drogami: z zanieczyszczonego środowiska oraz w wyniku procesów przetwórczych.

WWA atmosferyczne, występujące w fazie gazowej oraz zaadsorbowane na powierzchni pyłów osiadają na powierzchni roślin, rozpuszczając się ponadto w woskowej kutikuli pokrywającej ich powierzchnię, np. w sałacie stwierdzano znacznie powyżej $1\mu\text{g}/\text{kg}$ benzo[a]pirenu [18]. Właściwości lipofilne tych związków powodują, że szczególnie narażone na zanieczyszczenie WWA są rośliny oleiste. Zanieczyszczenie środowiska wodnego jest przyczyną występowania często znacznych ilości WWA w rybach, a zwłaszcza małżach. Obróbka termiczna, pieczenie, smażenie, a zwłaszcza grillowanie [7, 13] powoduje znaczny wzrost zawartości WWA. Podwyższone zawartości WWA stwierdza się również w produktach poddanych wędzeniu. Zwyczaje żywieniowe w poszczególnych państwach i regionach geograficznych są przyczyną znacznych różnic w wielkości dziennego pobrania WWA. Philips [9] m.in. podaje, że codzienne pobranie WWA z żywnością w Europie wynosi od około $3\mu\text{g}$ (Wielka Brytania, Włochy) do $17\mu\text{g}$ w Holandii, natomiast w Nowej Zelandii jest oceniane na $1,2\mu\text{g}$. Ocenia się, że głównym źródłem WWA w diecie człowieka są oleje i tłuszcze, dostarczające do 34% dziennego pobrania WWA, w tym aż 50% benzo[a]pirenu. W tej grupie produktów stwierdza się również najwyższe zawartości poszczególnych WWA [12].

Znaczne ilości WWA dostarczają produkty zawierające niewielkie ich ilości, ale stanowiące główny składnik diety. Produkty zbożowe dostarczają do 35% dziennego pobrania WWA, w tym 30 - 34% BaP. Trzecią grupę stanowią owoce i warzywa (12%). Żywność wędzona i grillowana ma w Polsce na ogół znikome znaczenie jako źródło WWA. Często spożywana taka żywność może jednak stać się znaczącym ich źródłem, np. w USA produkty grillowane dostarczają do 21% dziennej dawki WWA [6].

Pomimo znacznej, potwierdzonej obserwacjami i badaniami rakotwórczości WWA w krajach Unii Europejskiej nie było jednolitego ustawodawstwa dotyczącego ich zawartości w żywności. Poszczególne kraje wprowadzały własne, często różne uregulowania prawne. Skupiano się przede wszystkim na produktach, w których stwierdzono najwyższe stężenia tych związków, a więc oleje oraz produkty wędzone [16]. Trudności analityczne oraz znaczna liczba tych związków (ponad 100), sprawiły ponadto, że często analizy ograniczano tylko do benzo[a]pirenu, tj. jednego z najbardziej toksycznych WWA. W 2002 r. Naukowy Komitet ds. Żywności (SCF) [12] zaliczył 33 WWA do szczególnie niebezpiecznych. Opierając się na opinii SCF parlament Unii Europejskiej uznał benzo[a]piren za znacznik występowania WWA w żywności. Wprowadzone zostały najwyższe dopuszczalne poziomy benzo[a]pirenu w niektórych środkach spożywczych [10]. Zgodnie z powyższym rozporządzeniem zawartość benzo[a]pirenu w przetworzonej żywności na bazie zbóż nie może przekroczyć $1\mu\text{g}/\text{kg}$ świeżej masy produktu.

Celem badań była analiza zawartości 16 WWA, uznanych za najistotniejsze zanieczyszczenia, w zbożowych produktach śniadaniowych znajdujących się na rynku.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań pod kątem zawartości WWA stanowiły próbki 22 produktów śniadaniowych produkcji różnych firm. Analizowano 6 rodzajów płatków kukurydzianych, po 2 rodzaje płatków owsianych i jęczmiennych, 5 rodzajów musli, 4 rodzaje crunchy i 3 rodzaje chleba (tradycyjny chleb żytni, oraz chleb tostowy pszenny i graham). Każdy asortyment składał się z trzech próbek zakupionych w różnych sklepach.

Analizę zawartości WWA w badanym materiale wykonano w oparciu o klasyczną metodę *Grimmera i Bohnkego* [4]. W tym celu poszczególne próbki homogenizowano i pobierano z nich po dwie ok. 15 g naważki, które poddawano ekstrakcji wrzącym 2M wodno metanolowym (1:9 v/v) roztworem KOH w objętości 100 cm³ przez 4 godziny. W celu oszacowania stopnia odzysku do próbek dodawano deuterowane wzorce WWA. Po ochłodzeniu do temperatury ok. 40°C, mieszaninę przenoszono ilościowo do rozdzielnika. WWA ekstrahowano trzema porcjami heksanu, odpowiednio 50, 30 i 20 cm³. W celu usunięcia pozostałości KOH oraz produktów hydrolizy uzyskany ekstrakt przepłukiwano trzema 100 cm³ porcjami wody dejonizowanej. Po zateżeniu w wyparce rotacyjnej do 2 cm³, ekstrakt oczyszczano z wykorzystaniem 1g kolumn wypełnionych florisilem. Kolumny wstępnie kondycjonowano przemywając je 6 cm³ dichlorometanu, a następnie 12 cm³ heksanu. Na tak przygotowane złożo nanoszono ilościowo próbkę, wykorzystując w tym celu dodatkowe 2 cm³ heksanu. Kolumnę przemywano 10 cm³ heksanu, a następnie frakcję zawierającą WWA eluowano za pomocą 8 cm³ mieszaniny heksan/dichlorometan (3/1; v/v). Rozdział analityczny próbek wykonano z wykorzystaniem chromatografu gazowego HP 6890 sprzężonego z detektorem MSD HP 5973. Zastosowano kolumnę HP-5 MS 30 m x 250 µm x 0,25 µm. Analizy wykonano w trybie monitorowania pojedynczych jonów SIM.

Limity detekcji LOD oraz oznaczalności LOQ oszacowano na podstawie analizy 7-miu powtórzeń ślepej próby odczynnikowej. LOD obliczano jako średnią z poziomu szumów tła plus 3 odchylenia standardowe, natomiast LOQ jako średnią poziomu szumów plus 6 odchylen standardowych. Po uwzględnieniu naważek LOD mieściły się w zakresie 0,007 µg/kg do 0,44 µg/kg, natomiast LOQ pomiędzy 0,01 µg/kg a 0,71 µg/kg. Dla benzo[a]pirenu wartości te wyniosły odpowiednio 0,01 µg/kg i 0, 018 µg/kg

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne są obecne jako zanieczyszczenia we wszystkich roślinach, nie tylko oleistych. Podstawową przyczyną obecności w nich WWA jest zanieczyszczenie atmosfery. Zawartość tych związków w zbożach jest stosunkowo niewielka, średnie poziomy sumy 16 WWA w ziarnie pszenicy i jęczmienia w badaniach *Wieczorka* [19] wynosiły 12 µg/kg, w tym 0,25–0,7 µg/kg BaP. *Lawrence* [8] w otrębach pszennych wykrywał 0,5 – 0,8 µg/kg BaP, podczas gdy w mące tylko 0,1 µg/kg. Raport SCF [12] podaje, że w otrębach pszennych występuje do 5,4 µg/kg BaP, przy sumarycznej zawartości WWA wynoszącej 359,7 µg/kg. Pozostałe produkty na bazie zbóż zawierały 2,1 – 17,7 µg/kg WWA w tym 0,04 do 0,2 µg/kg BaP. Niewielkie ilości WWA stwierdzano także w przetworach z kukurydzy (0,15 µg/kg BaP w płatkach kukurydzianych), a największe w prażonej kukurydzy (0,56 µg/kg BaP), co jest niewątpliwie wynikiem obróbki termicznej [6]. Natomiast w ryżu stwierdzono 0,12 – 3 µg/kg (ziarno) do 3,4 µg/kg BaP (łuska) [6, 14]. Zdarzające się w nielicznych przypadkach zanieczyszczenie mąki ma jednak bezpośredni związek z podwyższoną zawartością WWA stwierdzaną w wypiekach. W tradycyjnym fińskim chlebie żytnim stwierdzono 93 – 291 µg/kg (Σ16 WWA), co bezpośrednio wynikało z zawartości tych związków w mące wykorzystanej do jego wypieku, tj. 880 – 1182 µg/kg WWA.

Wyniki uzyskane w niniejszej pracy przedstawiono w Tabeli I i na Ryc 1. W większości badanych produktów wszystkie 16 WWA stwierdzono na niskim poziomie, a ich suma (Σ16 WWA) mieściła się w zakresie 4,2 do 169 µg/kg. Są to zawartości nie odbiegające od danych dostępnych w cytowanym piśmiennictwie.

W poszczególnych próbkach w najwyższych stężeniach występowały fenantren antra-cen, fluoranten oraz piren, a więc węglowodory o niskich współczynnikach toksyczności (Toxic Equivalency Factor - TEF) w zakresie 0,001–0,01. Wskaźnikowy dla całej grupy

Tabela I. Zawartość WWA ($\mu\text{g}/\text{kg}$) w analizowanych produktach
PAHs contents [$(\mu\text{g}/\text{kg})$] in the analysed products

Związek	Zawartość WWA ($\mu\text{g}/\text{kg}$)						
	Płatki kukurydziane	Płatki owsiane	Płatki jęczmienne	Musli	Crunchy	Chleb	Raport WHO [17]
Nf	1,2–3	1–1,1	1,4–1,9	0,8–2,8	0,8–1,5	0,9–5,07	2,60
Acf	ns–0,2	ns–1,	ns	0,1–0,2	ns–0,2	0,3–4,3	nd–2,3
Ace	ns–1,0	1	0,2–0,3	0,8–1	0,1–0,9	0,5–8,7	0,9
Fl	ns–1,2	0,2	0,2–0,9	0,5–1,2	0,4–1,3	0,8–23	nd–5,9
Fen	1,5–15,5	7–7,6	15–29,3	3,6–20,4	6,8–12,4	18,1–245	nd–94
Ant	0,6–2,7	9,1–9,5	0,5–0,7	0,4–28	0,6–16	1,5–361	nd–9,4
Flu	0,1–0,8	0,4–0,5	1–91–2,4	0,9–4,0	0,8–3,1	2,7–568	0,1–130
Pir	0,1–0,7	0,2–0,3	1–2,4	0,7–5,2	0,9–3,7	2,7–342	nd–48
BaA	ns–0,1	ns	0,8–1,1	0,1–3,6	0,2–2,2	0,4–71	0,03–4,2
Ch	0,1–0,1	ns–0,1	0,5–0,7	0,2–1,0	0,1–1,3	0,2–33,0	nd–2,8
BbF	ns–0,1	ns	0,4–0,5	0,1–1,8	0,1–1,1	0,2–18,0	0,02–1,4
BkF	ns–0,1	ns	0,3	0,1–1,0	0,1–0,7	0,2–16,0	0,03–1,3
BaP	śl–0,12	śl	0,2–0,4	śl–1,8	śl–1,07	0,16–19,1	nd–5,4
IndP	śl–0,4	ns–śl	0,1–0,2	śl–0,5	śl–0,39	śl–22,9	nd–3,2
DahA	ns	ns	ns	0,1	ns–0,1	ns–1,0	nd–3,6
Bper	ns	ns	ns–0,1	0,1–0,9	ns–0,1	0,1–53	nd–120

Objaśnienia:

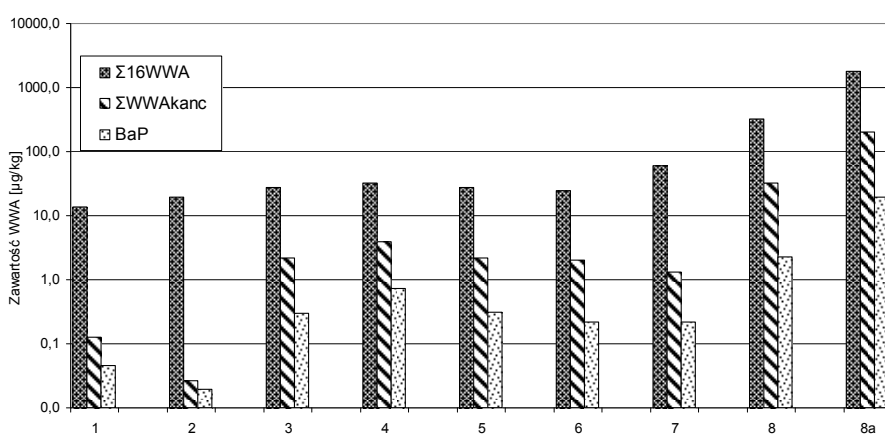
Nf: naftalen; Acf: acenaftylen; Ace: acenaften; Fl: fluoren; Fen: fenantren; Ant: antra-cen; Flu: fluoranten; Pir: piren; BaA: benzo[a]antracen; Ch: chryzen; BbF: benzo[b]flu-oranten; BkF: benzo[k]fluoranten; BaP: benzo[a]piren; IndP: indeno[1,2,3-cd]piren; DahA: dibenzo[a,h]antracen; Bper: benzo[g,h,i]perylene

WWA - benzo[a]piren (TEF=1) stwierdzono we wszystkich badanych próbkach. W płatkach kukurydzianych i owsianych były to ilości śladowe, tylko w jednym przypadku przekraczały $0,1 \mu\text{g}/\text{kg}$. W tych próbkach nie stwierdzono obecności dibenzo[a,h]antracenu oraz benzo[g,h,i]perylenu, natomiast śladową zawartość benzo[b]fluorantenu stwierdzono tylko w jednej próbce płatków kukurydzianych. W pozostałych produktach zawartość WWA była około dwukrotnie większa osiągając $63 \mu\text{g}/\text{kg}$ w próbce musli. Stosunkowo najbardziej zanieczyszczone okazały się produkty typu musli i crunchy, a więc produkty zawierające oprócz ziarna zbóż także suszone owoce, otręby oraz najwyższą zawartość tłuszczu (do 20% w crunchy). W tych produktach stwierdzono przekroczenie najwyższego dopuszczalnego poziomu benzo[a]pirenu: 1,1 i $1,8 \mu\text{g}/\text{kg}$ w musli oraz $1,07 \mu\text{g}/\text{kg}$ w crunchy.

Zawartość procentowa węglowodorów kancerogennych zmieniała się w szerokim zakresie osiągając 20% w crunchy i 29,5% w musli. Znajduje to swoje odzwierciedlenie również w podwyższonym udziale benzo[a]pirenu: odpowiednio 3,4% i 5,7%. Najmniejszy udział rakotwórczych WWA stwierdzono w płatkach owsianych – 0,1%.

Spośród rakotwórczych węglowodorów w najwyższych ilościach występował benzo[a]antracen i benzo[k]fluoranten (TEF=0,1)

Oddzielną grupę badanych produktów stanowiły chleby. Przy ich wypieku panuje wysoka temperatura, a więc mogą zająć warunki do intensywnej syntezy WWA. Zawartość WWA w średnio wypieczonych próbkach chleba żytniego i tostu pszennego była jednak niska i nie



Ryc 1. Porównanie średnich zawartości: sumy 16 WWA [µg/kg], sumy kancerogennych WWA [µg/kg] oraz benzo[a]pirenu [µg/kg] w badanych próbkach

1 - płatki kukurydziane; 2 - płatki owsiane; 3 - płatki jęczmienne; 4 - musli; 5 - crunchy; 6 - chleb żytni; 7 - tost pszenny; 8 - tost graham; 8a - fragmenty przypalone WWA kancerogenne: Ch, BaA, BbF, BkF, BaP, IndP, DahA, Bper

Fig. 1. Comparison between sum of 16 PAHs [µg/kg], sum of carcinogenic PAHs [µg/kg] and benzo[a]pyrene content [µg/kg] in the analysed samples:

1- corn flakes; 2 -oats flakes; 3- barley flakes; 4- musli; 5 -crunchy; 6 - rye bread; 7 - wheat toast; 8 - toast graham; 8a - urn parts
Carcinogenic PAHs: Ch, BaA, BbF, BkF, BaP, IndP, DahA, Bper

odbiegała od stwierdzonych w pozostałych produktach. Największą zawartość WWA (169 µg/kg) stwierdzono w chlebie tostowym graham. W chlebie tym stwierdzono niewielkie przekroczenie dopuszczalnego poziomu BaP. Na przykładzie chleba typu graham zaobserwowano również wyraźny wpływ stopnia wypieczenia na poziom WWA. W bardzo silnie wypieczonych fragmentach chleba suma 16 WWA wynosiła 1793 µg/kg, a zawartość benzo[a]pirenu wielokrotnie przekroczyła obowiązujące poziomy zawartości BaP dotyczące żywności na bazie zbóż. Również zawartość WWA dla całej uśrednionej próbki znacznie odbiegała od pozostałego asortymentu (Tabela I). Największy przyrost zawartości w porównaniu do próbki nieprzypalanej dotyczył ponadto rakotwórczych węglowodorów. Dla benzo[a]pirenu przyrost zawartości był 16-krotny.

Zawartości WWA w badanych produktach były stosunkowo niewielkie i pomimo znacznego spożycia należy uznać taką żywność za bezpieczną, nie stwarzającą zagrożenia dla zdrowia. Należy jednak unikać pieczywa zbyt silnie wypieczonego, które może zawierać nadmierne, wielokrotnie przewyższające dopuszczalne poziomy WWA.

WNIOSKI

1. Zawartość WWA w badanych produktach zbożowych była stosunkowo niska i wynosiła od 4,2 µg/kg w płatkach kukurydzianych do 169 µg/kg w chlebie tostowym.

2. W zbyt mocno wypieczonych fragmentach chleba stwierdzano znaczny wzrost zawartości benzo[a]pirenu: 19 $\mu\text{g}/\text{kg}$ wobec dopuszczalnego przepisami UE poziomu wynoszącego dla tej grupy produktów 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

A. Ciemniak, L. Chraćol

WIELOPIERŚCIENIOWE WĘGLOWODORY AROMATYCZNE (WWA) W ZBOŻOWYCH PRODUKTACH ŚNIADANIOWYCH

Streszczenie

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) są powszechnymi zanieczyszczeniami, powstającymi w wyniku niepełnego spalania (pirolizy) materii organicznej. WWA występują zawsze w postaci złożonych mieszanin, nigdy jako pojedyncze związki. Są związkami chemicznie stabilnymi o silnych właściwościach lipofilnych i mogą występować jako zanieczyszczenia żywności: warzyw, owoców, produktów zbożowych, olejów i tłuszczów, a zwłaszcza żywności grillowanej i wędzonej.

W niniejszej pracy dokonano analizy 16 WWA w zbożowych produktach śniadaniowych: musli, płatkach kukurydzianych, jęczmiennych i owsianych oraz crunchy. Procedura analityczna opierała się na alkalicznej hydrolizie próbek, ekstrakcji heksanem oraz oczyszczaniu ekstraktów na kolumnach wypełnionych florisilem. Rozdział chromatograficzny został wykonany z wykorzystaniem chromatografu gazowego HP 6890 sprzężonego z detektorem masowym HP 5973. Zawartość WWA w większości próbek była na ogół niewielka i kształtowała się na poziomie 4,2 do 169 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Wyjątek stanowiły silnie wypieczone próbki chleba. Benzo[a]piren stwierdzono we wszystkich badanych próbkach w zakresie stężeń 0,02 $\mu\text{g}/\text{kg}$ do 16 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

A. Ciemniak, L. Chraćol

POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS (PAHs) IN CEREAL BREAKFAST PRODUCTS

Summary

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are ubiquitous pollutants formed by incomplete combustion (pyrolysis) of several organic materials. PAHs occur as complex mixtures, never as individual components. They are chemically stable and highly lipophilic in nature and occur as contaminants in different food categories: vegetables, fruit, cereals, oils and fats, especially barbecued and smoked food.

The present study was carried out to determine 16 PAHs in cereal products: musli, corn, oats and barley flakes, and crunchy. The analytical procedure was based on alkaline digestion, extraction with *n*-hexane and cleaned up in a florisil cartridge. Chromatographic separation was performed using gas chromatography (HP 6890) coupled to mass spectrometry (HP 5973). The levels of PAHs in most samples were generally low and excepting one sample of bread varied between 4,2 to 169 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Benzo[a]pyrene, was detected in all samples, at level 0,02 $\mu\text{g}/\text{kg}$ to 16 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

PIŚMIENNICTWO

1. *Brandys J.*: Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. Chemiczne substancje toksyczne w środowisku. Komisja nauk medycznych – Oddział PAN w Krakowie 1990, ISBN 83–043532–4, 164–175.

2. *Culp S., J., Gaylor D., W., Sheldon w., G., Goldstein L., S., Beland F., A.*: A comparison of the tumors induced by coal tar and benzo[a]pyrene in a 2-year bioassay. *Carcinogenesis* 1998, 19, 117–124.
3. *Goldman R., Bowman E., D., Pellizzari W., D., Beach J., Shields P., G.*: Polycyclic aromatic hydrocarbons in human lung, liver and breast tissue. *Proc. Am. Assoc. Cancer Res.* 2000, 443, 139–147.
4. *Grimmer G., Böhnke H.*: Polycyclic aromatic hydrocarbon profile analysis of high protein foods, oils and fatty by gas chromatography. *J. Ass. off. Anal. Chem.* 1975, 58, 725 – 733.
5. *Hietaniemi V., Kumpulainen J.*: Contents of PCBs, organochloride pesticide residues and PAH compounds in Finnish foodstuffs. Proceedings of the technical workshop on trace elements, natural antioxidants and contaminants, Helsinki – Espoo August 25 – 26, 1995, REU Technical series 49, 157–167.
6. *Kazerouni N., Sinha R., Che-Han Hsu, Greenberg A., Rothman N.*: Analysis of 200 food items for benzo[a]pyrene and estimation of its intake in an epidemiologic study. *Food Chem. Toxicol.*, 2000, 39: 423–436.
7. *Larsson B., K., Sahlberg G., P., Erikson A., T., Busk L., Å.*: Polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled food. *J. Agric Food Chem.* 1983, 31(4), 867–873.
8. *Lawrence J. F., Weber D., F.*: Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in Canadian samples of processed vegetable and dairy products by liquid chromatography with fluorescence detection. *J. Agric. Food Chem.* 1984, 32: 794–797.
9. *Phillips D., H.*: Polycyclic aromatic hydrocarbons in the diet. *Mutat. Res.* 1999, 443, 139–147.
10. Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 1881/2006 z 19.12.2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej* 2006, L364/5
11. *Scherer G., Frank S., Riedel K., Meger-Kosien I., Renner T.*: Biomonitoring of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons of nonoccupationally exposed persons. *Cancer Epidemiol. Biomark. Prev.* 2000, 9, 373–380.
12. Scientific Committee on Food: Opinion of the Scientific Committee on Food on the risk to human health of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in food. SCF/CS/CNTM/ PAH/29 Final 4 December 2002.
13. *Szteke B., Jędrzejczak R.*: Problem zanieczyszczenia żywności benzo(a)pirenem w procesach termicznych. *Przem. Ferm. i Ow. Warz.*, 1996, 2, 7–9.
14. *Tao S., Jiao X., C., Chen s., H., Liu W., X., Coveney Jr R., M., Zhu L., Z., Luo Y., M.*: Accumulation and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in rice (*Oryza sativa*). *Environ. Pollut.* 2006; 140: 406 – 415.
15. United States Environmental Protection Agency.: EPA/5401/1–86/013, 1984.
16. *Wenzl R., Simon R., Kleiner J., Anklam E.*: Analytical methods for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in food legislation in the European Union. *Trends Anal. Chem.* 2006, 25(7) 716 – 725.
17. WHO Technical Report Series; 930, Evaluation of certain food contaminants. Sixty-fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Genewa 2006.
18. *Wickström K., Pysalo H., Plaami-Heikkilä P., Tuominen J.*: Polycyclic aromatic compounds (PAC) in leaf lettuce. *Z Lebensm Unters Forsch* 1986; 182–185.
19. *Wieczorek J.K., Skibniewska K.A., Wieczorek Z.J.*: Pozostałości wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych i insektycydów chloroorganicznych w ziarnie pszenicy i jęczmienia. *Bromat. Chem. Toksykol.* 2005, 38, 159 – 65.

Otrzymano: 13.11.2007 r.

Akceptowano: 08.07.2008 r.

