

RENATA PIETRZAK-FIEĆKO¹, JAROSŁAW PAROL², MARIUSZ S. KUBIAK³

¹Katedra Towaroznawstwa i Badań Żywności
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

²Regionalna Izba Gospodarcza Żywności Naturalnej i Tradycyjnej w Olsztynie

³Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego
Politechnika Koszalińska w Koszalinie

PORÓWNANIE ZAWARTOŚCI WIELOPIERŚCIENIOWYCH WĘGLOWODORÓW AROMATYCZNYCH (WWA) W WĘDZONYCH TRADYCYJNIE RYBACH SŁODKOWODNYCH

CONTENT COMPARISON OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS
(PAHs) IN TRADITIONALLY SMOKED FRESHWATER FISH

Streszczenie. Celem badań było porównanie zawartości wybranych WWA (benzo[a]pirenu, chryzenu, benzo[a]antracenu, benzo[b]fluorantenu) w mięsie różnych gatunków ryb słodkowodnych wędzonych metodą tradycyjną (bezpośrednią). Badaniem objęto 16 próbek ryb wybranych gatunków: pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*), karpia (*Cyprinus carpio*), sielawy (*Coregonus albula*) i węgorza (*Anguilla anguilla*). Średnia zawartość sumy czterech WWA w mięsie pstrąga, karpia, sielawy i węgorza wynosiła odpowiednio: 2,73, 8,23, 6,45 i 3,65 µg/kg mięsa. Maksymalne dopuszczalne stężenia wybranych WWA w mięsie badanych gatunków ryb wędzonych nie zostały przekroczone w żadnej z analizowanych próbek. Przeprowadzone badania potwierdzają, że mięso tradycyjnie wędzonego pstrąga, karpia, sielawy i węgorza jest bezpieczne dla konsumentów pod względem zawartości badanych WWA.

Słowa kluczowe: WWA, pstrąg, karp, sielawa, węgorz, wędzenie

Wstęp

Ryby cieszą się coraz większą popularnością, gdyż dieta w nie bogata jest obecnie intensywnie promowana i zalecana konsumentom z uwagi na udokumentowane właściwości prozdrowotne. To właśnie składnikom zawartym w mięsie ryb przypisuje się wspomaganie w zapobieganiu, a nawet leczeniu niektórych schorzeń, jak również

w utrzymaniu dobrej kondycji fizycznej i psychicznej. Lipidy ryb zawierają szczególnie cenione wielonienasycone kwasy tłuszczowe, dodatkowo obecność w mięsie ryb wielu związków bioaktywnych, będących ich naturalnym składnikiem, pozwala określać je mianem żywności funkcjonalnej (Arens, 1997; Kołakowska i in., 2002; Usyodus i in., 2009).

W gospodarce rybackiej coraz większego znaczenia nabierają produkty akwakultury, gdyż połowy śródlądowe zaczynają wykazywać różnego charakteru ograniczenia. Ryby najczęściej hodowane w Polsce to karp i pstrąg, lecz coraz częściej spotyka się inne gatunki, szczególnie te, które są trudno dostępne lub poszukiwane przez konsumentów (np. węgorz). Ze względu na szczególne cechy organoleptyczne produktów rybnych tradycyjnie wędzonych, gdzie dym wytwarza się w procesie termicznego przekształcania drewna drzew liściastych, a palenisko znajduje się w komorze wędzarniczej bezpośrednio pod produktami lub w tunelu w pewnej odległości od komory, rośnie liczba zakładów produkujących tą metodą. Rybami szczególnie cenionymi w postaci wędzonej są: węgorz, pstrąg, sielawa oraz intensywnie promowany w tej formie karp.

Tradycyjne wędzenie nadaje rybom niepowtarzalne walory sensoryczne oraz zapewnia bezpieczeństwo mikrobiologiczne i przedłuża trwałość. Jednak ta metoda przyczynia się do przenikania do żywności wraz z lotnymi składnikami dymu wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Związki te powstają pod wpływem wysokiej temperatury w procesach przetwarzania żywności, takich jak wędzenie, smażenie czy pieczenie (Falcó i in., 2003; Karl i Leinemann, 1996; Kubiak, 2012; Kubiak i in., 2010), a dodatkowym ich źródłem są zanieczyszczenia przemysłowo-komunalne. Żywność może być zanieczyszczona WWA poprzez sorpcję z zanieczyszczonej gleby, wody czy powietrza (Trapido, 1999). Warzywa i owoce zatrzymują WWA na woskowej powierzchni (Rodríguez-Acuña i in., 2008). Ryby mogą być narażone na obecność tych związków w wodzie i osadach dennych (Noaksson i in., 2003). Badania wskazują, że zanieczyszczenia żywności WWA mogą być spowodowane również ruchem ulicznym, zwłaszcza w przypadku uprawy lub hodowli w pobliżu ruchliwych dróg (Grova i in., 2002). Ze względu na powinowactwo do tłuszczu WWA ulegają kumulacji w lipidach zwierząt, które odżywiają się skażonym pożywieniem (Guillen i in., 1997; Stołyhwo i Sikorski, 2005; Wretling i in., 2010).

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne to liczna grupa związków, które charakteryzują się zbliżonymi właściwościami fizyczno-chemicznymi. WWA wykazują silne właściwości genotoksyczne (Trapido, 1999), mutagenne oraz kancerogenne (Es-sumang i in., 2012; Maliszewska-Kordybach, 1996). Najbardziej niebezpieczne z nich to: benzo[a]piren, uważany dotychczas za związek wskaźnikowy (rakotwórczy), oraz benzo[a]antracen, chryzen, benzo[b]fluoranten, benzo[k]fluoranten, dibenzo[a,h]antracen oraz indenol[1,2,3-c,d]piren (Sikorski, 2004). Komitet Naukowy ds. Żywności przyjął, że benzo[a]piren może być wykorzystywany jako marker występowania i rakotwórczego działania WWA obecnych w żywności. Ustalono maksymalną dopuszczalną zawartość B[a]P w rybach wędzonych na poziomie 5,0 µg/kg świeżej masy, a w przypadku ryb niepoddanych procesowi wędzenia – na poziomie 2,0 µg/kg świeżej masy (Rozporządzenie Komisji (WE) nr 208/2005..., 2005). Panel Naukowy ds. Zanieczyszczeń w Łańcuchu Żywnościowym (CONTAM) Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) w 2008 roku stwierdził, że układ czterech specyficznych WWA (benzo[a]pirenu, chryzenu, benzo[a]antracenu, benzo[b]fluorantenu) będzie bardziej

odpowiednim wskaźnikiem obecności tych związków w żywności (Rozporządzenie Komisji (UE) nr 835/2011..., 2011) – jednocześnie zrezygnowano z określania najwyższego dopuszczalnego poziomu WWA w rybach świeżych, gdyż uważa się, że nieprzetworzone ryby dość szybko metabolizują WWA do bezpiecznej zawartości (Yurchenko i Mölder, 2005). Od 1 września 2014 roku zaczęły obowiązywać nowe najwyższe dopuszczalne poziomy benzo[a]pirenu oraz sumy benzo[a]pirenu, chryzenu, benzo[a]antracenu i benzo[b]fluorantenu – odpowiednio 2,0 i 12,0 µg/kg mięsa (Rozporządzenie Komisji (UE) nr 835/2011..., 2011), które mogą być trudne do osiągnięcia przez producentów stosujących tradycyjne komory wędzarnicze.

Celem badań było porównanie zawartości wybranych WWA (benzo[a]pirenu, chryzenu, benzo[a]antracenu, benzo[b]fluorantenu) w mięsie różnych gatunków ryb słodkowodnych wędzonych metodą tradycyjną (bezpośrednią).

Material i metody

Badaniem objęto 16 próbek ryb słodkowodnych czterech gatunków: pstrąga tęczowego (*Oncorhynchus mykiss*), karpia (*Cyprinus carpio*), sielawy (*Coregonus albula*) i węgorza (*Anguilla anguilla*) (po cztery sztuki każdego gatunku). Średnia masa jednej ryby wynosiła: pstrąga – około 500 g, karpia – około 800 g, sielawy – 85 g, węgorza – 1100 g. Średnia zawartość tłuszczu w rybach wynosiła: w pstrągu – 6%, w karpniu – 11%, w sielawie – 7% i w węgorzu – 21%.

Przed wędzeniem ryby oskrobano, wypatroszono, pozbawiono skrzelii oraz moczone w solance (8-procentowy roztwór NaCl) przez 12 h i opłukano. Wędzono je tradycyjnie w piecu murowanym o kubaturze 2,5 m³. Ryby umieszczono w jednakowej odległości od znajdującego się bezpośrednio pod nimi paleniska, opalanego drewnem olchowym, sezonowanym i okorowanym. W celu uniknięcia bezpośredniego kontaktu płomieni z rybami zastosowano nieperforowaną przysłonę. Czas osuszania wynosił 30 min. a temperatura – około 40°C. Czas wędzenia bezpośredniego zależał od gatunku (sielawa: 75 min, pstrąg: 150 min, karp: 200 min, węgorz: 360 min), a temperatura tego procesu wynosiła około 60°C. Uwędzone ryby zostały ostudzone do temperatury 3°C.

W celu odniesienia otrzymanych wyników do obowiązującego rozporządzenia do badań przeznaczono jedynie czyste mięso ryb (część jadalną) bez skóry. Całe mięso danej ryby zostało oddzielone od ości, zmielone i dokładnie wymieszane. Przygotowane próbki polegały na ekstrakcji frakcji lipidowej z dodatkiem standardu wewnętrznego (benzo[b]chryzenu) mieszaniną chloroformu i metanolu (w stosunku 2 : 1). Wydzielano część chloroformową zawierającą frakcję lipidową WWA, odparowywano chloroform w strumieniu azotu, przenoszono suchą pozostałość do chlorku metylenu i poddawano analizie metodą chromatografii preparatywnej. Eluent zbierano w kolektorze frakcji, a następnie odparowywano do sucha w strumieniu azotu w łaźni wodnej. Suchą pozostałość rozpuszczano w acetonitrylu i nanoszono na kolumnę chromatograficzną HPLC/FLD firmy Knauer/Shimadzu.

Oznaczenie czterech wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (benzo[a]pirenu, chryzenu, benzo[a]antracenu, benzo[b]fluorantenu) wykonano metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej z detektorem fluorescencyjnym. Warunki rozdzielania były następujące: kolumna – Hypersil Green PAH, 5 mm, 250 × 3 mm I.D; faza ru-

choma – gradient acetonitrylu i wody; temperatura – 25°C, szybkość przepływu – 0,8 ml/min; nanoszona objętość – 20 µl. Wynik wyrażono w mikrogramach na kilogram mięsa (Węgrzyn i in., 2006).

Uzyskane wyniki badań poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem programu Statistica 10 (StatSoft). Zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA, porównując badane cechy poszczególnych gatunków ryb. Do stwierdzenia istotności różnic pomiędzy średnimi grupowymi wykorzystano test Duncana na poziomie istotności $p \leq 0,05$.

Wyniki

Wyniki badań zawartości benzo[a]pirenu, chryzenu, benzo[a]antracenu, benzo[b]-fluorantenu w mięsie wybranych ryb słodkowodnych przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunku 1.

Średnia zawartość benzo[a]antracenu (B[a]A) w analizowanych rybach była największa w mięsie karpia i wyniosła 3,48 µg/kg mięsa w zakresie od 2,70 do 4,50 µg/kg. Najmniejszą średnią zawartością B[a]A charakteryzowało się mięso pstrąga, w którym stwierdzono jedynie 0,28 µg tego WWA w 1 kg mięsa. W przypadku jednej próbki pstrąga nie stwierdzono obecności B[a]A, a maksymalna jego zawartość wyniosła 0,40 µg/kg mięsa. Średnia zawartość benzo[a]antracenu w mięsie sielawy i węgorza wyniosła odpowiednio: 2,50 µg/kg i 1,43 µg/kg mięsa. Analiza statystyczna wykazała różnice w średniej zawartości B[a]A między wszystkimi badanymi gatunkami ryb.

Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic między średnią zawartością chryzenu w mięsie karpia i sielawy (2,90 µg/kg i 2,13 µg/kg mięsa) oraz pstrąga i węgorza (1,19 µg/kg i 1,25 µg/kg mięsa).

Również w przypadku średniej zawartości benzo[b]fluorantenu (B[b]F) w mięsie badanych gatunków ryb wędzonych tradycyjnie nie wykazano statystycznie istotnych różnic między nimi. Średnia zawartość B[b]F w mięsie pstrąga, karpia, sielawy i węgorza wyniosła odpowiednio: 0,79 µg/kg, 0,83 µg/kg, 0,98 µg/kg, 0,48 µg/kg.

Największą średnią zawartość benzo[a]pirenu (B[a]P) stwierdzono w mięsie karpia: 1,03 µg/kg i sielawy: 0,85 µg/kg. Średnia zawartość B[a]P w mięsie pstrąga i węgorza była zbliżona i wynosiła odpowiednio: 0,47 µg/kg i 0,50 µg/kg.

Średnia zawartość sumy czterech wskaźnikowych WWA była zróżnicowana i mieściła się w zakresie od 2,73 µg/kg mięsa pstrąga do 8,32 µg/kg mięsa karpia. W mięsie sielawy i węgorza oznaczono odpowiednio 6,45 µg/kg i 3,65 µg/kg ΣWWA4. Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w średniej zawartości sumy wskaźnikowych WWA w mięsie karpia i sielawy oraz pstrąga i węgorza (tab. 1).

Największy udział w sumie czterech WWA (43,64%) stwierdzono w przypadku chryzenu w mięsie pstrąga. W mięsie karpia, sielawy i węgorza stwierdzono go odpowiednio: 35,26%, 32,95% i 34,25%. W mięsie pstrąga kolejnym co do wielkości udziału w ΣWWA4 wskaźnikowym WWA był B[b]F (28,91%). W pozostałych trzech analizowanych gatunkach stwierdzono go od 10,03% do 15,12%. Procentowy udział B[a]P w ΣWWA4 był stosunkowo niewielki i wynosił w mięsie pstrąga 17,29%, karpia – 12,46%, sielawy – 13,18% oraz węgorza – 13,70% (rys. 1).

Tabela 1. Zawartość wybranych WWA w mięsie badanych ryb słodkowodnych ($\mu\text{g}/\text{kg}$ mięsa)
Table 1. Content of selected PAHs in meat of the investigated freshwater fish ($\mu\text{g}/\text{kg}$ of meat)

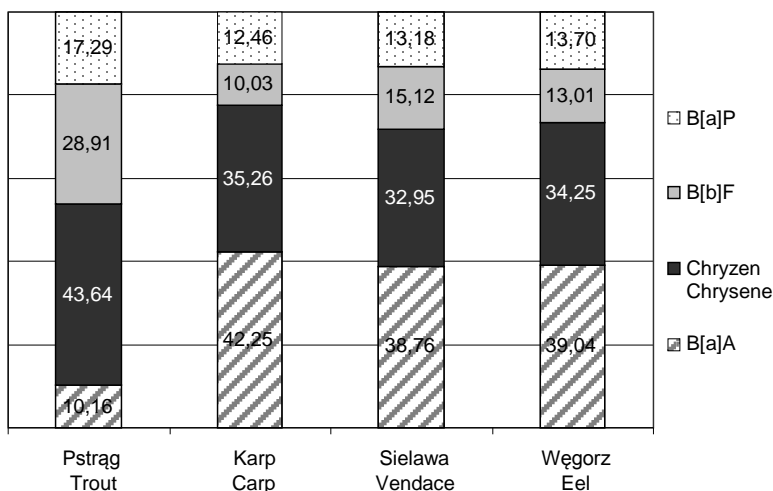
Gatunek Species	Miara statystyczna Statistical measure	Benzo[a]- piren Benzo[a]- pyrene	Chryzen Chrysene	Benzo[a]- antracen Benzo[a]- anthracene	Benzo[b]- fluoranten Benzo[b]- fluoranthene	Suma WWA4 Sum PAH4
Pstrąg Trout	\bar{X}	0,47 ^b	1,19 ^b	0,28 ^d	0,79 ^a	2,73 ^b
	SD	0,11	0,21	0,19	0,09	0,43
	Min	0,33	0,92	ns	0,67	2,14
	Max	0,59	1,38	0,40	0,87	3,13
	V	23,97	17,53	67,89	10,79	15,70
Karp Carp	\bar{X}	1,03 ^a	2,90 ^a	3,48 ^a	0,83 ^a	8,23 ^a
	SD	0,05	0,58	0,76	0,10	1,43
	Min	1,00	2,20	2,70	0,70	6,70
	Max	1,10	3,60	4,50	0,90	10,10
	V	4,88	19,91	21,84	11,61	17,40
Sielawa Vendace	\bar{X}	0,85 ^a	2,13 ^a	2,50 ^b	0,98 ^a	6,45 ^a
	SD	0,37	0,81	0,65	0,52	2,32
	Min	0,50	1,20	1,90	0,50	4,10
	Max	1,30	3,10	3,40	1,60	9,40
	V	43,49	38,30	25,92	53,21	36,04
Węgorz Eel	\bar{X}	0,50 ^b	1,25 ^b	1,43 ^c	0,48 ^a	3,65 ^b
	SD	0,08	0,33	0,25	0,32	0,77
	Min	0,40	0,90	1,10	ns	2,90
	Max	0,60	1,70	1,70	0,70	4,70
	V	16,33	26,53	17,54	67,40	21,16

X – wartość średnia, SD – odchylenie standardowe, Min – wartość minimalna, Max – wartość maksymalna, V – współczynnik zmienności, ns – nie stwierdzono.

Wartości średnie w obrębie gatunku oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie istotności $p \leq 0,05$.

X – mean value, SD – standard deviation, Min – minimum value, Max – maximum value, V – coefficient of variation, ns – not detected.

Mean values within species designated by the same letters do not differ statistically significantly at the significance level of $p \leq 0.05$.



Rys. 1. Udział poszczególnych wskaźnikowych WWA w Σ WWA4 (%)

Fig. 1. Contribution of individual indicator PAHs in Σ PAHs4 (%)

Dyskusja

Według badań z lat sześćdziesiątych, siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku w rybach wędzonych metodą tradycyjną zawartość B[a]P mieści się w szerokim zakresie od 0,1 do 60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ produktu (Sikorski, 1980). Wyniki ówczesnych badań potwierdzają, że skóra wędzonych ryb zawiera wielokrotnie więcej B[a]P niż części jadalne (skóra węgorza: 49–74 $\mu\text{g}/\text{kg}$, mięso węgorza: 2,6–3,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$, skóra makreli: 19–30 $\mu\text{g}/\text{kg}$, mięso makreli: 0,5–2,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$) (Tilgner i Daun, 1969). Aktualne wytyczne dotyczące analizy zawartości WWA odnoszą się jedynie do mięsa ryb i nie obejmują skóry jako części jadalnej, stąd w niniejszym opracowaniu brak wyników zawartości WWA na powierzchni skóry ryb.

Benzo[a]piren, składnik WWA dotychczas uważany za jedyny związek wskaźnikowy, obecnie wchodzi w skład sumy czterech wskaźnikowych WWA, jednak oznaczany jest nadal w celu porównywania wyników z badaniami wcześniejszymi. Obowiązujący od 1 września 2014 roku nowy najwyższy dopuszczalny poziom benzo[a]pirenu wynosi 2,0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ mięsa (Rozporządzenie Komisji (UE) nr 835/2011..., 2011).

Badania przeprowadzone przez Yurchenkę i Möldera (2005) wykazały w przypadku mięsa pstrąga wędzonego wartości benzo[a]pirenu zbliżone do otrzymanych w tej pracy: 0,50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ mięsa. Autorzy ci oznaczyli średnią zawartość benzo[a]antracenu na poziomie 1,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ mięsa oraz benzo[b]fluorantenu + benzo[k]fluorantenu – na poziomie 0,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ mięsa (Yurchenko i Mölder, 2005).

Visciano i in. (2008) stwierdzili w wędzonych tradycyjnie rybach pochodzących z włoskich hodowli następujące średnie zawartości wybranych WWA: benzo[a]antracen – 1,75 $\mu\text{g}/\text{kg}$ mięsa, chryzen – 0,61 $\mu\text{g}/\text{kg}$ mięsa, benzo[b]fluoranten – 4,68 $\mu\text{g}/\text{kg}$ mięsa oraz antracen – 11,30 $\mu\text{g}/\text{kg}$, fluoranten – 5,64 $\mu\text{g}/\text{kg}$ i piren – 18,74 $\mu\text{g}/\text{kg}$ mięsa.

W badaniach pstrąga pochodzącego z jeziora Michigan w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej wykazano, że ryby surowe zawierały średnie ilości wybranych WWA niewiele większe od otrzymanych w niniejszej pracy. Ryby wędzone z tego samego jeziora zawierały następujące średnie ilości wybranych WWA: benzo[a]antracen – 9,66 µg/kg, benzo[a]piren – 5,12 µg/kg, chryzen – 2,93 µg/kg oraz benzo[b]fluoranten – 0,08 µg/kg mięsa. W przypadku wędzonych pstrągów pozyskanych z Jeziora Górnego oznaczono średnie ilości benzo[a]antracenu na poziomie 15,63 µg/kg mięsa oraz benzo[a]pirenu na poziomie 8,43 µg/kg mięsa. Jedynie zawartość chryzenu (1,46 µg/kg) była zbliżona do prezentowanej w niniejszej pracy (Zabik i in., 1995).

Różnice w zawartości badanych wskaźnikowych WWA mogą wynikać zarówno ze specyfiki gatunkowej ryby (rozmiar, grubość skóry, zawartość tłuszczu), jak i z czasu ekspozycji na składniki dymu. Dodatkowym czynnikiem różnicującym może być fakt, że obieg dymu w tradycyjnej komorze wędzarniczej nie jest wymuszony i nie rozchodzi się równomiernie w całej jej kubaturze.

Tradycyjne wędzenie jest jedną z najstarszych metod utrwalania żywności, nadającą jej nie tylko oryginalne i pożądane przez konsumentów walory organoleptyczne, lecz także, co jest również ważne, zapewniającą bezpieczeństwo mikrobiologiczne i trwałość, bez konieczności stosowania sztucznych substancji dodatkowych. Szeroko zakrojone akcje promocyjne żywności tradycyjnej oraz rosnący popyt spowodowały wzrost liczby zakładów stosujących tradycyjne metody przetwórcze.

Wnioski

1. Obowiązujące od 1 września 2014 roku najwyższe dopuszczalne poziomy zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w środkach spożywczych (w tym ryb) nie zostały przekroczone w żadnej z analizowanych próbek mięsa pstrąga, karpia, sielawy i węgorza.

2. Udział B[a]P w sumie WWA w wędzonych rybach stanowił jedną z najmniejszych wartości – około 13–17%.

3. Wykazano różnice w zawartości wybranych WWA w różnych gatunkach ryb wędzonych tradycyjnie nawet w teoretycznie jednakowych warunkach.

4. W obrębie jednego gatunku ryb największe różnice w zawartości wybranych WWA zanotowano w tradycyjnie wędzonej sielawie, co prawdopodobnie jest związane z niewielkim rozmiarem tej ryby i spowodowanym tym rozmieszczeniem w komorze wędzarniczej.

5. Najwyższe oznaczone poziomy zawartości wybranych WWA stwierdzono w mięsie wędzonego karpia i były one najbliższe przekroczenia obowiązujących norm.

Literatura

- Arens, U. (1997). Fish and heart disease. *Coron. Health Care*, 1, 2, 79–82.
- Essumang, D. K., Dodoo, D. K., Adjei, J. K. (2012). Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contamination in smoke-cured fish products. *J. Food Compos. Anal.*, 27, 128–138.

- Falcó, G., Domingo, J. L., Llobet, J. M., Teixidó, A., Casas, C., Müller, L. (2003). Polycyclic aromatic hydrocarbons in foods: human exposure through the diet in Catalonia, Spain. *J. Food Prot.*, 66, 2325–2331.
- Grova, N., Feidt, C., Crepeineau, C., Laurent, C., Lafargue, P. E., Hachimi, A., Rychen, G. (2002). Detection of polycyclic aromatic hydrocarbon level in milk collected near potential contamination sources. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 4640–4642.
- Guillen, M. D., Sopelana, P., Partearroyo, M. A. (1997). Food as a source of polycyclic aromatic carcinogens. *Rev. Environ. Health*, 12, 133–146.
- Karl, H., Leinemann, M. (1996). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fishery products from different smoking kilns. *Z. Lebensm.-Unters. Forsch.*, 202, 459–464.
- Kołąkowska, A., Olley, J., Dunstan, G. A. (2002). Fish lipids. W: Z. E. Sikorski, A. Kołąkowska (red.), *Chemical and functional properties of food lipids* (s. 224–230). Boca Raton: CRC Press.
- Kubiak, M. S. (2012). Poziom koncentracji zanieczyszczeń z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w wybranych wyrobach mięsnych poddanych tradycyjnemu wędzeniu. *Nauka Przym. Technol.*, 6, 2, #18.
- Kubiak, M. S., Piszcz, P., Jankowski, P. S. (2010). Zanieczyszczenia z grupy WWA – występowanie, charakterystyka oraz metody oznaczania w żywności i środowisku. *Post. Tech. Przetw. Spoż.*, 2, 93–97.
- Maliszewska-Kordybach, B. (1996). Polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural silos in Poland: preliminary proposals for criteria to evaluate the level of soil contamination. *Appl. Geochem.*, 11, 121–127.
- Noaksson, E., Linderöth, M., Bosveld, A. T. C., Norrgren, L., Zebuhr, Y., Balk, L. (2003). Endocrine disruption in brook trout (*Salvelinus fontinalis*) exposed to leachate from a public refuse dump. *Sci. Total Environ.*, 305, 87–103.
- Rodríguez-Acuña, R., Pérez-Camino, M. C., Cert, A., Moreda, W. (2008). Sources of contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in Spanish virgin olive oils. *Food Additiv. Contam.*, 25, 115–122.
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 835/2011 z dnia 19 sierpnia 2011 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 odnośnie do najwyższych dopuszczalnych poziomów wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w środkach spożywczych. (Tekst mający znaczenie dla EOG). (2011). *Dz. Urz. UE*, L, 215, 4–8.
- Rozporządzenie Komisji (WE) nr 208/2005 z dnia 4 lutego 2005 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 466/2001 w odniesieniu do wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. (Tekst mający znaczenie dla EOG). (2005). *Dz. Urz. UE*, L, 34, 3–5.
- Sikorski, Z. E. (1980). *Technologia żywności pochodzenia morskiego*. Warszawa: WNT.
- Sikorski, Z. E. (2004). *Ryby i bezkręgowce morskie. Pozyskiwanie, właściwości i przetwarzanie*. Warszawa: WNT.
- Stolyhwo, A., Sikorski, Z. E. (2005). Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish – a critical review. *Food Chem.*, 91, 303–311.
- Tilgner, D. J., Daun, H. (1969). Polycyclic aromatic hydrocarbons (polynuclears) in smoked foods. *Residue Rev.*, 27, 9–41.
- Trapido, M. (1999). Polycyclic aromatic hydrocarbon in Estonian soil: contaminations and profiles. *Environ. Pollut.*, 105, 67–74.
- Uśyduś, Z., Szlinder-Richert, J., Polak-Juszczak, L., Komar, K., Adamczyk, M., Małesa-Ciećwierz, M., Ruczyńska, W. (2009). Fish products available in Polish market – assessment of the nutritive value and human exposure to dioxins and other contaminants. *Chemosphere*, 74, 1420–1428.

Pietrzak-Fiećko, R., Parol, J., Kubiak, M. S. (2015). Porównanie zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w wędzonych tradycyjnie rybach słodkowodnych. *Nauka Przym. Technol.*, 9, 3, #33. DOI: 10.17306/J.NPT.2015.3.33

- Visciano, P., Perugini, M., Conte, F., Amorena, M. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processed by traditional flue gas smoking and by liquid smoke flavourings. *Food Chem. Toxicol.*, 46, 5, 1409–1413.
- Węgrzyn, E., Grześkiewicz, S., Popławska, W., Głód, B. K. (2006). Modified analytical method for polycyclic aromatic hydrocarbons, using sec for sample preparation and RP-HPLC with fluorescence detection. Application to different food samples. *Acta Chromat.*, 17, 233–249.
- Wretling, S., Eriksson, A., Ekshult, G. A., Larsson, B. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Swedish smoked meat and fish. *J. Food Compos. Anal.*, 23, 264–272.
- Yurchenko, S., Mölder, U. (2005). The determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish by gas chromatography mass spectrometry with positive-ion chemical ionization. *J. Food Compos. Anal.*, 18, 857–869.
- Zabik, M. E., Booren, A., Zabik, M. J., Welch, R., Humphrey, H. (1995). Pesticides residues, PCBs and PAHs in baked, charbroiled, salt boiled and smoked Great Lakes lake trout. *Food Chem.*, 55, 231–239.

CONTENT COMPARISON OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS (PAHs) IN TRADITIONALLY SMOKED FRESHWATER FISH

Summary. The aim of this study was to compare the content of chosen PAHs (benzo[a]pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene) in meat of different freshwater fish species that were traditionally (directly) smoked. The survey covered 16 freshwater fish samples of four species: rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), carp (*Cyprinus carpio*), vendace (*Coregonus albula*) and eel (*Anguilla anguilla*). Average content of sum of four PAHs in meat of trout, carp, vendace and eel was: 2.73, 8.23, 6.45 and 3.65 µg/kg of meat, respectively. Maximum levels of chosen PAHs in meat of examined fish species were not exceeded by any of the samples. Conducted studies confirmed that meat of traditionally smoked trout, carp, vendace and eel is safe in terms of content of the analysed PAHs.

Key words: PAH, trout, carp, vendace, eel, smoking

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Renata Pietrzak-Fiećko, Katedra Towaroznawstwa i Badań Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, pl. Cieszyński 1, 10-719 Olsztyn, Poland, e-mail: renap@uwm.edu.pl

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

23.02.2015

Do cytowania – For citation:

Pietrzak-Fiećko, R., Parol, J., Kubiak, M. S. (2015). Porównanie zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w wędzonych tradycyjnie rybach słodkowodnych. *Nauka Przym. Technol.*, 9, 3, #33. DOI: 10.17306/J.NPT.2015.3.33