



**INSTYTUT BIOTECHNOLOGII
PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO
im. prof. Wacława Dąbrowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

ZIARNO ZBÓŻ

ze zbiorów 2021 r.

Wielopierścieniowe Węglowodory Aromatyczne

Badania zrealizowane w ramach:

Zadania 1. : Analiza jakości surowców rolnych z uwzględnieniem zagrożenia wystąpienia substancji skażających oraz

Zadania 2. : Określenie standardów i wymagań jakościowych dla ziarna pszenżyta, jęczmienia i owsa na potrzeby obrotu towarowego ziarna.

ZIARNO ZBÓŻ

ze zbiorów 2021 r.

Autorzy: dr hab. inż. Marek Roszko, prof. IBPRS
inż. Magdalena Szczepańska

Zakład Bezpieczeństwa i Analizy Chemicznej Żywności
Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno – Spożywczego
Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa, grudzień 2021 r.

1. Wprowadzenie

Zanieczyszczenia organiczne występujące w nieprzetworzonym ziarnie zbóż można podzielić na te pochodzenia biologicznego oraz stanowiące pozostałości różnych substancji chemicznych. Przykładem tych pierwszych są mykotoksyny wytwarzane przez pleśnie.

Zanieczyszczenia chemiczne obejmują przede wszystkim pestycydy celowo stosowane przez rolników do ochrony upraw oraz substancje które migrują do ziarna ze środowiskowego, np. dioksyny, chlorowane bifenyle, polibromowane etery difenylowe czy wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Cząsteczki WWA składają się z wielu skondensowanych pierścieni aromatycznych tworzących struktury płaskie. Powstają w wyniku niecałkowitego spalania materii zawierającej węgiel, w tym materii organicznej. WWA znajdują się również w ropie naftowej, w związku z tym ich obecność w surowcach rolnych może być związana z wydobyciem / produkcją i przetwarzaniem ropy naftowej (WWA pochodzenia petrogenicznego). WWA są wysoce tłuszczu rozpuszczalne, ze wartościami współczynników podziału oktanol/woda (wyrażone jako log o/w) przekraczające 3 i są chemicznie umiarkowanie obojętne. Badania w kierunku obecności wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych WWA prowadzi się głównie w odniesieniu do żywności przetworzonej. Żywności w której spodziewa się zanieczyszczenia WWA w wyniku obróbki cieplnej i/lub wybranych innych technik przetwarzania. Liczba dostępnych doniesień na temat zanieczyszczeń WWA w nieprzetworzonym materiale roślinnym jest jednak ograniczona. WWA nie wykazują potencjału biomagnifikacyjnego, mają natomiast pewne wspólne cechy z chemikaliami sklasyfikowanymi jako trwałe zanieczyszczenia organiczne (TZO). Pomimo, że nigdy nie zostały sklasyfikowane jako TZO, są wszechobecne w środowisku. Podobnie jak inne zanieczyszczenia organiczne, WWA są przenoszone w środowisku na powierzchni cząstek stałych lub jako rozproszone w fazie gazowej. Na podstawie badań wykazano, że poziomy WWA obserwowane w materiale roślinnym są skorelowane ze stężeniem WWA w powietrzu i na powierzchni pyłów zawieszonych. Przyjmuje się, że powietrze atmosferyczne jest główną drogą skażenia rośliny przez WWA poprzez opad atmosferyczny pyłów zawieszonych. Migracja WWA z powietrza do roślin zależy od kilku czynników, są to m.in. obecność woskowatego naskórka lub obecność w ich składzie związków zdolnych do tworzenia kompleksów z cząsteczkami WWA. Dostępne dane wskazujące również ma inną możliwą trasę zanieczyszczenia - absorpcję WWA przez system korzeniowy roślin. Niemniej wskazuje się na ograniczone znaczenie tej drogi zanieczyszczenia. WWA są substancjami niebezpiecznymi.

Wywołują szkodliwe efekty zdrowotne w organizmach żywych. Są rakotwórcze i genotoksyczne u ludzi i dzikich zwierząt. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne obejmują bardzo liczną grupę związków. W celu harmonizacji przepisów oraz łatwiejszego szacowania poziomu zanieczyszczenia żywności węglowodorami w krajach Unii Europejskiej stosuje się substancje wskaźnikowe w tym Benzo[a]piren oraz sumy czterech wskaźnikowych węglowodorów (benzo[a]piren, chryzen, benzo[a]antracen, benzo[b]fluoranten). Dodatkowo, Komisja Europejska nałożyła na kraje członkowskie obowiązek monitorowania 15 związków zaliczonych do wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. W konsekwencji rozporządzenia Komisji Europejskiej (KE) określające maksymalne dopuszczalne poziomych zanieczyszczeń chemicznych w żywności zawierają maksymalne limity dla zarówno 4 WWA jak i benzo[a]pirenu.

2. Metodyka badań

2.1. Liczba próbek do badań i metody badań

W ramach programu badań realizowanego we współpracy z Zakładem Przetwórstwa Zbóż i Piekarstwa IBPRS-PIB zgromadzono 339 próbek ziarna pszenicy, jęczmienia, owsa, pszenżyta, kukurydzy i żyta badaniom poddano po 25 próbek ziarna każdego gatunku roślin. Próbki do badań pochodziły z elewatorów zbożowych i firm zajmujących się przetwórstwem ziarna jęczmienia ze zbiorów z roku 2022. Próbki pochodziły z różnych rejonów klimatyczno-uprawowych, przyjętych przez Centralny Ośrodek Badania Roślin Uprawnych (COBORU) dla potrzeb oceny odmian w Polsce. Badania prowadzono zgodnie z metodykami opublikowanymi wcześniej przez autorów (Roszko i wsp. 2014, 2018, 2020).

Stosowane oznaczenia : ace – acenaften, acy – acenaftylen, ant – antracen, B[a]A – benzo[a]antracen, b[a]p – benzo[a]pyrene, b[b]fl – benzofluoranthren, b[c]f – benzo[c]fluoren, b[c]phe – benzo[c]fenantren, b[g,h,i]p – benzo[g,h,i]pyrelen, b[j]fl – benzo[j]flurantren, b[k]fl – benzo[k]fluorantren, Chr – chryzen, CP[c,d]P – cyclopenta[c,d]piren, db[a,h]a – dibenzo[a,h]antracen, db[a,e]pyr – dibenzo[a,e]pyrelen, db[a,h]pyr – dibenzo[a,h]pyrelen, db[a,i]pyr – dibenzo[a,i]pyrelen, db[a,l]pyr – dibenzo[a,l]pyrelen, flu – fluoren, i[c,d]p – indeno[c,d]piren, nap – naftalen, phe – fenantren, pyr – piren.

3. Wyniki badań.

Zbiornicze dane uzyskane na podstawie przeprowadzonych badań przedstawiono w Tabeli 1-12.

Zawartości badanych substancji obliczono jako dolna granica oznaczalności przyjmując wartości poniżej granicy oznaczalności jako równe zero. Zawartości przedstawiono również jako środkowa granica oznaczalności przyjmując wartości poniżej granicy jako równe stężeniom odpowiadającym połowie granicy oznaczalności. Badania obecności zanieczyszczeń środowiskowych w żywności przyjmują założenie, że wszystkie badane substancje są obecne w żywności a niemożność ich oznaczenia ilościowego wynika wyłącznie z ograniczeń stosowanych metod analitycznych.

W badanym materiale niezależnie od gatunku stwierdzano obecność w przeważającej ilości obecność niskocząsteczkowych węglowodorów aromatycznych z przewagą naftalenu, fenantrenu, fluorenu, acenaftenu, acenaftyleny, fluorantenu, pirenu i antracenu. Ogólnie obserwowane poziomy zawartości węglowodorów można uznać za niskie.

Obowiązujące rozporządzenie Komisji Europejskiej 1881/2006 z późniejszymi zmianami nie określa maksymalnych dopuszczalnych zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w ziarnie zbóż. W odniesieniu do powyższego rozporządzenia określono dopuszczalne zawartości dla przetworzonej żywności na bazie zbóż przeznaczonej do żywienia niemowląt i małych dzieci. Dla powyższej kategorii maksymalna zawartość benzo[a]pirenu oraz sumy wskaźnikowych węglowodorów określona została na poziomie 1 ug kg-1. Maksymalne zawartości benzo[a]pirenu obliczone jako środkowa granica oznaczalności w kilku z badanych próbek przekroczyła wartości 1 ug kg-1 (kukurydza, żyto). W przypadku sumy wskaźnikowych węglowodorów przekroczenia wartości 1 ug kg-1 obserwowano w przypadku próbek pszenicy, jęczmienia, kukurydzy, owsa i żyta. Przy średnich wartościach wyłącznie w przypadku kukurydzy i żyta nieznacznie powyżej 1 ug kg-1. Należy wyraźnie podkreślić, że procesy przetwórcze ziarna zbóż stosowanego w żywieniu ludzi usuwają zewnętrzną część ziarniaków. Stąd też procesy przetwórcze usuną znaczną jeżeli nie większość zanieczyszczeń zalegających na powierzchni ziarniaków. Na tej podstawie można wnioskować, że ziarno zbóż jest pod tym względem bezpieczne dla konsumentów a obecność węglowodorów aromatycznych nie stanowi istotnego zagrożenie również dla jego obrotu towarowego.

Profil węglowodorów (Rys 1 i Rys 2) oraz wzajemne stosunki poszczególnych substancji są wskaźnikiem źródeł zanieczyszczenia materiału roślinnego węglowodorami aromatycznymi. Na rysunku 3 pokazano rycinę przedstawiającą stosunek zawartości fuorantrenu do sumy fluorantrenu oraz pirenu w odniesieniu do stosunku antracenu do sumy antracenu i fenantrenu obliczony dla wszystkich badanych próbek. Uzyskane wyniki wskazują na zanieczyszczenie zależne od produktów ropopochodnych. Dodatkowo literatura wskazuje, że wysokie zawartości naftalenu mogą wskazywać na zanieczyszczenie będące wynikiem emisji spalin.

Tabela 1 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w ziarnie pszenicy, dolna granica oznaczenia [n=25][$\mu\text{g kg}^{-1}$].

Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,556	0,519	0,250	1,124	0,174
Acy	0,114	0,112	0,069	0,222	0,033
Ant	0,197	0,182	0,032	0,378	0,076
B[a]A	0,134	0,105	0,046	0,347	0,081
B[a]P	0,139	0,093	0,047	0,381	0,096
B[b]Fl	0,187	0,141	0,055	0,573	0,127
B[c]F	0,000	0,000	0,000	0,009	0,002
B[c]Phe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B[ghi]P	0,119	0,090	0,020	0,346	0,078
B[j]Fl	0,102	0,071	0,031	0,349	0,081
B[k]Fl	0,084	0,062	0,037	0,232	0,052
Chr	0,308	0,310	0,132	0,615	0,121
CP[c,d]P	0,030	0,034	0,000	0,053	0,016
DB[a,h]A	0,158	0,165	0,000	0,417	0,136
DB[a,e]Pyr	0,081	0,059	0,004	0,328	0,083
DB[a,h]Pyr	0,091	0,058	0,000	0,364	0,090
DB[a,i]Pyr	0,090	0,053	0,003	0,326	0,094
DB[a,l]Pyr	0,100	0,064	0,000	0,481	0,119
Flu	0,980	0,945	0,555	1,813	0,295
Fl	0,877	0,881	0,580	1,398	0,181
I[c,d]P	0,269	0,080	0,000	1,484	0,378
Nap	1,564	1,428	0,780	3,654	0,568
Phe	4,180	3,868	2,931	8,592	1,135
Pyr	0,684	0,639	0,448	1,351	0,213
EU 4	0,768	0,598	0,352	1,740	0,379

Tabela 2 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w ziarnie jęczmienia, dolna granica oznaczenia [n=25][$\mu\text{g kg}^{-1}$].

Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,401	0,368	0,072	0,851	0,206
Acy	0,075	0,086	0,024	0,127	0,030
Ant	0,188	0,180	0,111	0,272	0,051
B[a]A	0,127	0,109	0,060	0,380	0,070
B[a]P	0,119	0,101	0,052	0,342	0,074
B[b]Fl	0,169	0,150	0,083	0,442	0,085
B[c]F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B[c]Phe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B[ghi]P	0,066	0,065	0,004	0,222	0,044
B[j]Fl	0,086	0,076	0,025	0,190	0,042
B[k]Fl	0,098	0,089	0,050	0,212	0,042
Chr	0,222	0,200	0,152	0,429	0,067
CP[c,d]P	0,010	0,009	0,000	0,043	0,011
DB[a,h]A	0,056	0,039	0,011	0,163	0,045
DB[a,e]Pyr	0,049	0,034	0,005	0,244	0,054
DB[a,h]Pyr	0,030	0,021	0,001	0,085	0,022
DB[a,i]Pyr	0,052	0,017	0,005	0,450	0,096
DB[a,l]Pyr	0,054	0,026	0,003	0,469	0,096
Flu	0,956	0,778	0,521	2,659	0,464
Fl	0,797	0,789	0,280	1,269	0,237
I[c,d]P	0,133	0,085	0,024	0,381	0,111
Nap	2,761	2,532	1,156	6,654	1,106
Phe	3,151	3,007	2,322	4,604	0,702
Pyr	0,532	0,487	0,248	1,015	0,187
EU 4	0,637	0,551	0,386	1,569	0,287

Tabela 3 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w ziarnie kukurydzy, dolna granica oznaczenia [n=25][$\mu\text{g kg}^{-1}$].

Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,934	0,864	0,590	1,865	0,269
Acy	0,395	0,165	0,121	3,432	0,713
Ant	0,355	0,231	0,156	1,930	0,384
B[a]A	0,330	0,133	0,066	1,672	0,404
B[a]P	0,326	0,062	0,006	2,134	0,518
B[b]Fl	0,319	0,130	0,072	1,514	0,393
B[c]F	0,128	0,055	0,000	0,994	0,230
B[c]Phe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B[ghi]P	0,075	0,047	0,003	0,428	0,092
B[j]Fl	0,162	0,051	0,024	0,799	0,217
B[k]Fl	0,102	0,033	0,018	0,619	0,143
Chr	0,354	0,190	0,123	1,776	0,374
CP[c,d]P	0,284	0,013	0,000	4,800	0,997
DB[a,h]A	0,023	0,014	0,000	0,105	0,025
DB[a,e]Pyr	0,042	0,032	0,003	0,120	0,032
DB[a,h]Pyr	0,041	0,025	0,004	0,116	0,036
DB[a,i]Pyr	0,051	0,039	0,002	0,159	0,041
DB[a,l]Pyr	0,046	0,038	0,004	0,122	0,032
Flu	1,760	0,690	0,461	16,621	3,444
Fl	1,189	1,020	0,709	2,447	0,492
I[c,d]P	0,426	0,431	0,009	1,037	0,215
Nap	5,118	4,935	4,436	6,655	0,636
Phe	4,591	3,282	2,576	16,409	3,251
Pyr	0,545	0,447	0,261	1,571	0,310
EU 4	1,329	0,483	0,335	7,096	1,677

Tabela 4 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w ziarnie owsa, dolna granica oznaczenia [n=25][$\mu\text{g kg}^{-1}$].

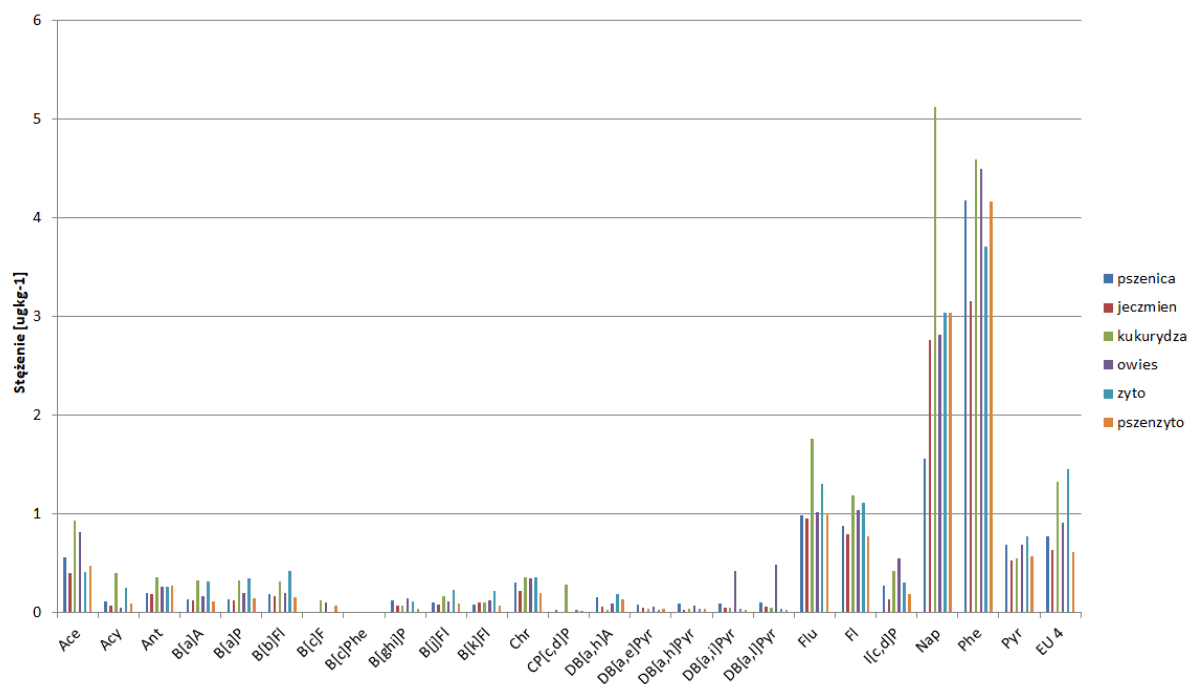
Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,811	0,656	0,116	4,230	0,808
Acy	0,049	0,045	0,007	0,230	0,043
Ant	0,261	0,234	0,154	0,840	0,133
B[a]A	0,161	0,112	0,000	1,336	0,250
B[a]P	0,195	0,110	0,048	0,932	0,211
B[b]Fl	0,203	0,194	0,025	0,410	0,092
B[c]F	0,102	0,087	0,000	0,435	0,092
B[c]Phe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B[ghi]P	0,142	0,012	0,002	2,480	0,491
B[j]Fl	0,115	0,092	0,045	0,412	0,086
B[k]Fl	0,120	0,100	0,000	0,522	0,101
Chr	0,350	0,278	0,150	1,222	0,244
CP[c,d]P	0,009	0,012	0,000	0,024	0,008
DB[a,h]A	0,095	0,077	0,000	0,344	0,075
DB[a,e]Pyr	0,064	0,012	0,003	0,805	0,159
DB[a,h]Pyr	0,069	0,014	0,004	0,910	0,179
DB[a,i]Pyr	0,421	0,018	0,001	9,179	1,827
DB[a,l]Pyr	0,490	0,029	0,002	11,168	2,225
Flu	1,012	0,887	0,213	2,509	0,462
Fl	1,035	0,960	0,179	3,123	0,588
I[c,d]P	0,549	0,237	0,000	2,925	0,774
Nap	2,809	2,654	1,165	6,883	1,215
Phe	4,492	4,410	3,484	7,245	0,818
Pyr	0,691	0,636	0,000	1,224	0,240
EU 4	0,908	0,738	0,457	3,311	0,594

Tabela 5 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w ziarnie żyta, dolna granica oznaczenia [n=25][$\mu\text{g kg}^{-1}$].

Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,406	0,397	0,019	0,813	0,193
Acy	0,256	0,146	0,012	1,953	0,389
Ant	0,267	0,254	0,006	0,750	0,134
B[a]A	0,312	0,132	0,000	2,544	0,506
B[a]P	0,352	0,164	0,055	2,804	0,567
B[b]Fl	0,426	0,243	0,103	2,641	0,542
B[c]F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B[c]Phe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B[ghi]P	0,114	0,045	0,002	1,055	0,224
B[j]Fl	0,227	0,100	0,046	1,454	0,314
B[k]Fl	0,215	0,113	0,054	1,294	0,271
Chr	0,360	0,224	0,082	1,954	0,392
CP[c,d]P	0,030	0,023	0,000	0,178	0,037
DB[a,h]A	0,188	0,146	0,000	0,956	0,205
DB[a,e]Pyr	0,033	0,017	0,001	0,164	0,041
DB[a,h]Pyr	0,039	0,011	0,000	0,270	0,069
DB[a,i]Pyr	0,039	0,018	0,001	0,286	0,067
DB[a,l]Pyr	0,037	0,011	0,001	0,214	0,062
Flu	1,303	0,883	0,130	5,576	1,320
Fl	1,110	0,721	0,279	8,089	1,577
I[c,d]P	0,305	0,065	0,000	2,148	0,496
Nap	3,035	2,716	1,466	5,700	1,048
Phe	3,711	3,420	1,683	9,437	1,478
Pyr	0,773	0,533	0,011	3,712	0,748
EU 4	1,449	0,787	0,397	9,943	1,978

Tabela 6 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w ziarnie pszenżyta, dolna granica oznaczenia [n=25][$\mu\text{g kg}^{-1}$].

Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,475	0,448	0,007	1,003	0,296
Acy	0,093	0,090	0,009	0,201	0,057
Ant	0,270	0,272	0,195	0,385	0,047
B[a]A	0,110	0,109	0,066	0,219	0,034
B[a]P	0,148	0,139	0,056	0,286	0,064
B[b]Fl	0,153	0,154	0,092	0,209	0,036
B[c]F	0,066	0,062	0,038	0,114	0,019
B[c]Phe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B[ghi]P	0,041	0,028	0,001	0,160	0,040
B[j]Fl	0,087	0,083	0,041	0,198	0,035
B[k]Fl	0,075	0,077	0,041	0,107	0,020
Chr	0,200	0,194	0,137	0,393	0,049
CP[c,d]P	0,016	0,012	0,000	0,052	0,014
DB[a,h]A	0,131	0,109	0,000	0,813	0,165
DB[a,e]Pyr	0,036	0,030	0,001	0,157	0,034
DB[a,h]Pyr	0,036	0,033	0,002	0,083	0,023
DB[a,i]Pyr	0,030	0,018	0,005	0,124	0,030
DB[a,l]Pyr	0,029	0,020	0,001	0,102	0,027
Flu	1,007	0,906	0,551	2,565	0,479
Fl	0,775	0,777	0,098	1,160	0,268
I[c,d]P	0,185	0,071	0,002	1,654	0,333
Nap	3,034	2,946	1,230	6,654	1,163
Phe	4,162	4,297	2,823	5,208	0,642
Pyr	0,571	0,543	0,401	0,907	0,127
EU 4	0,610	0,605	0,417	0,949	0,125



Rys 1 Profil węglowodorów aromatycznych w ziarnie badanych gatunków zbóż.

Tabela 7 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w ziarnie pszenicy, środkowa granica oznaczenia [n=25][$\mu\text{g kg}^{-1}$].

Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,556	0,519	0,250	1,124	0,174
Acy	0,114	0,112	0,069	0,222	0,033
Ant	0,197	0,182	0,040	0,378	0,076
B[a]A	0,137	0,105	0,070	0,347	0,079
B[a]P	0,146	0,093	0,085	0,381	0,090
B[b]Fl	0,188	0,141	0,060	0,573	0,127
B[c]F	0,055	0,055	0,055	0,055	0,000
B[c]Phe	0,045	0,045	0,045	0,045	0,000
B[ghi]P	0,176	0,160	0,160	0,346	0,041
B[j]Fl	0,105	0,071	0,055	0,349	0,080
B[k]Fl	0,087	0,062	0,055	0,232	0,050
Chr	0,308	0,310	0,132	0,615	0,121
CP[c,d]P	0,035	0,034	0,025	0,053	0,009
DB[a,h]A	0,183	0,165	0,085	0,417	0,110
DB[a,e]Pyr	0,090	0,059	0,040	0,328	0,076
DB[a,h]Pyr	0,100	0,058	0,040	0,364	0,083
DB[a,i]Pyr	0,100	0,053	0,040	0,326	0,086
DB[a,l]Pyr	0,111	0,064	0,040	0,481	0,111
Flu	0,980	0,945	0,555	1,813	0,295
Fl	0,877	0,881	0,580	1,398	0,181
I[c,d]P	0,300	0,081	0,080	1,484	0,357
Nap	1,564	1,428	0,780	3,654	0,568
Phe	4,180	3,868	2,931	8,592	1,135
Pyr	0,684	0,639	0,448	1,351	0,213
EU 4	0,778	0,603	0,365	1,740	0,373

Tabela 8 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w ziarnie, środkowa granica oznaczenia [n=25][$\mu\text{g kg}^{-1}$].

Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,401	0,368	0,072	0,851	0,206
Acy	0,078	0,086	0,040	0,127	0,027
Ant	0,188	0,180	0,111	0,272	0,051
B[a]A	0,127	0,109	0,070	0,380	0,070
B[a]P	0,126	0,101	0,085	0,342	0,069
B[b]Fl	0,169	0,150	0,083	0,442	0,085
B[c]F	0,055	0,055	0,055	0,055	0,000
B[c]Phe	0,045	0,045	0,045	0,045	0,000
B[ghi]P	0,163	0,160	0,160	0,222	0,013
B[j]Fl	0,088	0,076	0,055	0,190	0,039
B[k]Fl	0,098	0,089	0,055	0,212	0,041
Chr	0,222	0,200	0,152	0,429	0,067
CP[c,d]P	0,026	0,025	0,025	0,043	0,004
DB[a,h]A	0,094	0,085	0,085	0,163	0,024
DB[a,e]Pyr	0,060	0,040	0,040	0,244	0,047
DB[a,h]Pyr	0,046	0,040	0,040	0,085	0,012
DB[a,i]Pyr	0,070	0,040	0,040	0,450	0,089
DB[a,l]Pyr	0,070	0,040	0,040	0,469	0,090
Flu	0,956	0,778	0,521	2,659	0,464
Fl	0,797	0,789	0,280	1,269	0,237
I[c,d]P	0,144	0,085	0,080	0,381	0,103
Nap	2,761	2,532	1,156	6,654	1,106
Phe	3,151	3,007	2,322	4,604	0,702
Pyr	0,532	0,487	0,248	1,015	0,187
EU 4	0,644	0,558	0,419	1,569	0,282

Tabela 9 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w ziarnie kukurydzy, środkowa granica oznaczenia [n=25][$\mu\text{g kg}^{-1}$].

Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,934	0,864	0,590	1,865	0,269
Acy	0,395	0,165	0,121	3,432	0,713
Ant	0,355	0,231	0,156	1,930	0,384
B[a]A	0,330	0,133	0,070	1,672	0,404
B[a]P	0,351	0,085	0,085	2,134	0,504
B[b]Fl	0,319	0,130	0,072	1,514	0,393
B[c]F	0,145	0,055	0,055	0,994	0,221
B[c]Phe	0,045	0,045	0,045	0,045	0,000
B[ghi]P	0,172	0,160	0,160	0,428	0,054
B[j]Fl	0,171	0,055	0,055	0,799	0,211
B[k]Fl	0,121	0,055	0,055	0,619	0,133
Chr	0,354	0,190	0,123	1,776	0,374
CP[c,d]P	0,294	0,025	0,025	4,800	0,994
DB[a,h]A	0,086	0,085	0,085	0,105	0,004
DB[a,e]Pyr	0,054	0,040	0,040	0,120	0,023
DB[a,h]Pyr	0,055	0,040	0,040	0,116	0,025
DB[a,i]Pyr	0,061	0,040	0,040	0,159	0,032
DB[a,l]Pyr	0,055	0,040	0,040	0,122	0,024
Flu	1,760	0,690	0,461	16,621	3,444
Fl	1,189	1,020	0,709	2,447	0,492
I[c,d]P	0,429	0,431	0,080	1,037	0,210
Nap	5,118	4,935	4,436	6,655	0,636
Phe	4,591	3,282	2,576	16,409	3,251
Pyr	0,545	0,447	0,261	1,571	0,310
EU 4	1,354	0,506	0,387	7,096	1,663

Tabela 10 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w ziarnie owsa, środkowa granica oznaczenia [n=25][$\mu\text{g kg}^{-1}$].

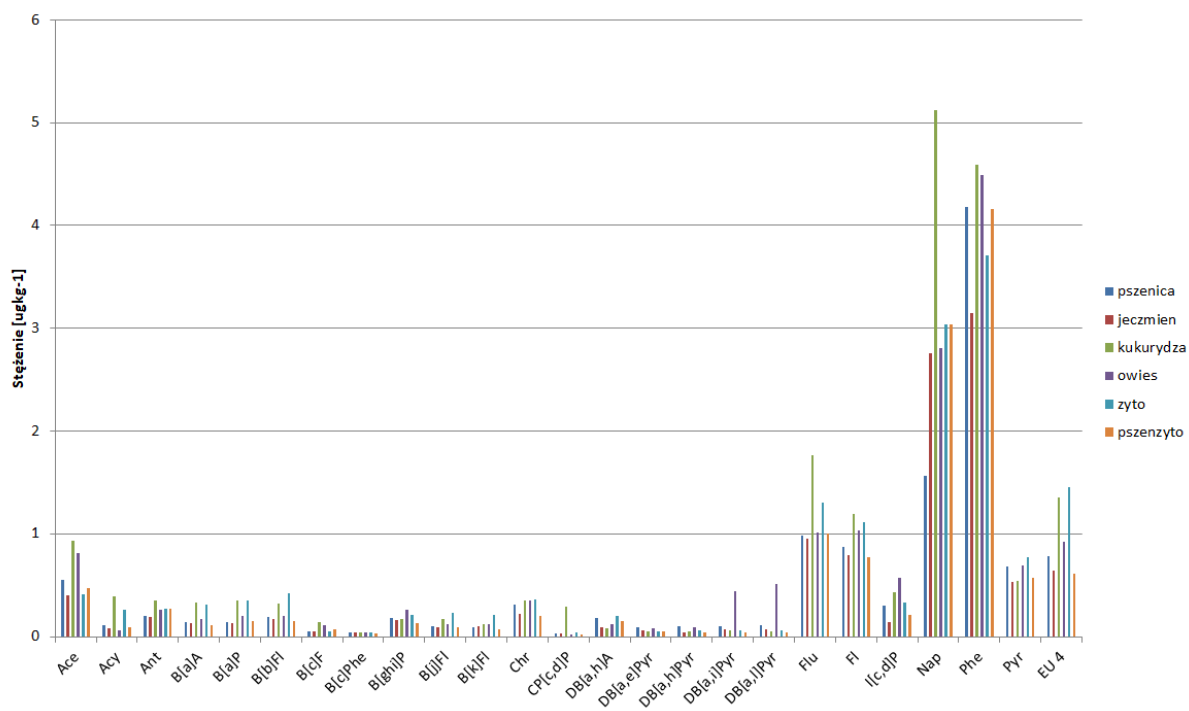
Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,811	0,656	0,116	4,230	0,808
Acy	0,056	0,045	0,040	0,230	0,038
Ant	0,261	0,234	0,154	0,840	0,133
B[a]A	0,167	0,112	0,070	1,336	0,247
B[a]P	0,200	0,110	0,085	0,932	0,208
B[b]Fl	0,204	0,194	0,060	0,410	0,089
B[c]F	0,107	0,087	0,055	0,435	0,088
B[c]Phe	0,045	0,045	0,045	0,045	0,000
B[ghi]P	0,258	0,160	0,160	2,480	0,463
B[j]Fl	0,116	0,092	0,055	0,412	0,086
B[k]Fl	0,122	0,100	0,055	0,522	0,099
Chr	0,350	0,278	0,150	1,222	0,244
CP[c,d]P	0,025	0,025	0,025	0,025	0,000
DB[a,h]A	0,117	0,085	0,085	0,344	0,058
DB[a,e]Pyr	0,085	0,040	0,040	0,805	0,152
DB[a,h]Pyr	0,088	0,040	0,040	0,910	0,173
DB[a,i]Pyr	0,438	0,040	0,040	9,179	1,823
DB[a,l]Pyr	0,507	0,040	0,040	11,168	2,222
Flu	1,012	0,887	0,213	2,509	0,462
Fl	1,035	0,960	0,179	3,123	0,588
I[c,d]P	0,567	0,237	0,080	2,925	0,761
Nap	2,809	2,654	1,165	6,883	1,215
Phe	4,492	4,410	3,484	7,245	0,818
Pyr	0,692	0,636	0,025	1,224	0,237
EU 4	0,921	0,738	0,471	3,311	0,594

Tabela 11 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w ziarnie żyta, środkowa granica oznaczenia [n=25][$\mu\text{g kg}^{-1}$].

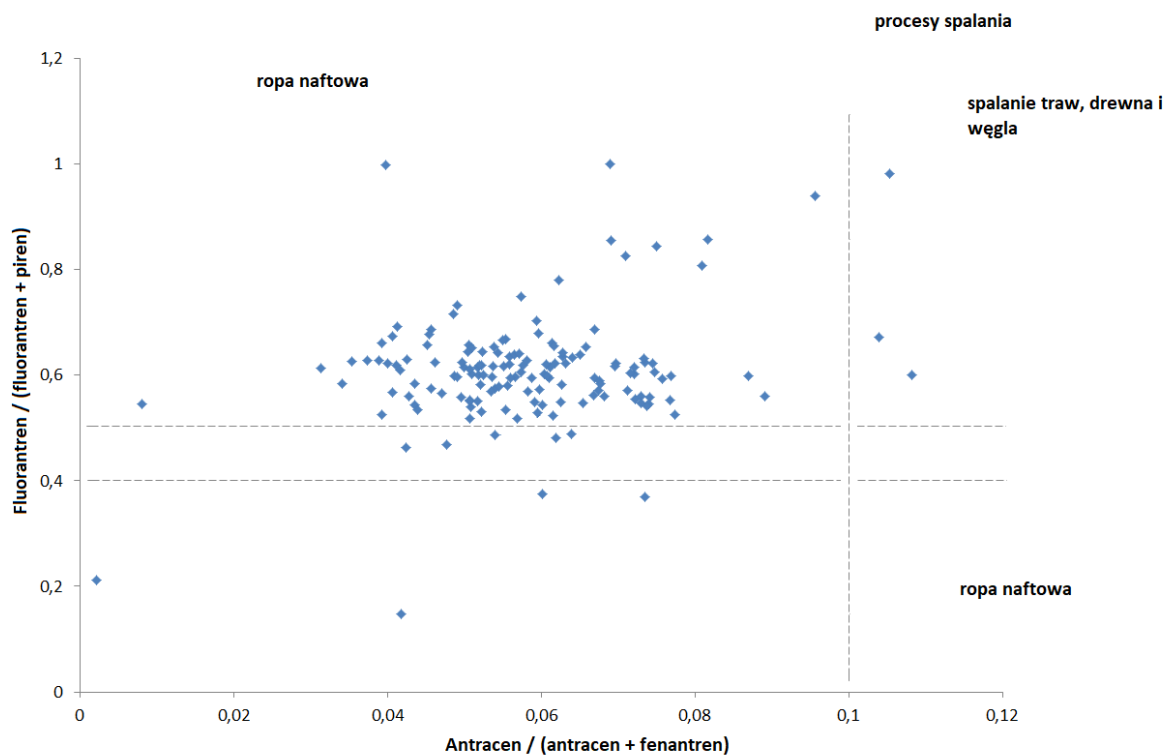
Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,407	0,397	0,040	0,813	0,191
Acy	0,257	0,146	0,040	1,953	0,389
Ant	0,268	0,254	0,040	0,750	0,132
B[a]A	0,315	0,132	0,070	2,544	0,504
B[a]P	0,355	0,164	0,085	2,804	0,566
B[b]Fl	0,426	0,243	0,103	2,641	0,542
B[c]F	0,055	0,055	0,055	0,055	0,000
B[c]Phe	0,045	0,045	0,045	0,045	0,000
B[ghi]P	0,215	0,160	0,160	1,055	0,188
B[j]Fl	0,228	0,100	0,055	1,454	0,314
B[k]Fl	0,215	0,113	0,055	1,294	0,271
Chr	0,360	0,224	0,082	1,954	0,392
CP[c,d]P	0,039	0,025	0,025	0,178	0,032
DB[a,h]A	0,199	0,146	0,085	0,956	0,196
DB[a,e]Pyr	0,053	0,040	0,040	0,164	0,030
DB[a,h]Pyr	0,063	0,040	0,040	0,270	0,058
DB[a,i]Pyr	0,060	0,040	0,040	0,286	0,059
DB[a,l]Pyr	0,062	0,040	0,040	0,214	0,050
Flu	1,303	0,883	0,130	5,576	1,320
Fl	1,110	0,721	0,279	8,089	1,577
I[c,d]P	0,335	0,080	0,080	2,148	0,478
Nap	3,035	2,716	1,466	5,700	1,048
Phe	3,711	3,420	1,683	9,437	1,478
Pyr	0,773	0,533	0,025	3,712	0,747
EU 4	1,455	0,787	0,413	9,943	1,975

Tabela 12 Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w ziarnie pszenżyta, środkowa granica oznaczenia [n=25][$\mu\text{g kg}^{-1}$].

Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,475	0,448	0,007	1,003	0,296
Acy	0,094	0,090	0,009	0,201	0,056
Ant	0,270	0,272	0,195	0,385	0,047
B[a]A	0,110	0,109	0,066	0,219	0,034
B[a]P	0,149	0,139	0,070	0,286	0,063
B[b]Fl	0,153	0,154	0,092	0,209	0,036
B[c]F	0,068	0,062	0,045	0,114	0,017
B[c]Phe	0,034	0,045	0,000	0,045	0,020
B[ghi]P	0,127	0,160	0,002	0,160	0,060
B[j]Fl	0,087	0,083	0,041	0,198	0,034
B[k]Fl	0,076	0,077	0,041	0,107	0,019
Chr	0,200	0,194	0,137	0,393	0,049
CP[c,d]P	0,024	0,025	0,000	0,052	0,011
DB[a,h]A	0,153	0,109	0,049	0,813	0,152
DB[a,e]Pyr	0,049	0,040	0,017	0,157	0,026
DB[a,h]Pyr	0,045	0,040	0,009	0,083	0,016
DB[a,i]Pyr	0,044	0,040	0,011	0,124	0,024
DB[a,l]Pyr	0,044	0,040	0,002	0,102	0,021
Flu	1,007	0,906	0,551	2,565	0,479
Fl	0,775	0,777	0,098	1,160	0,268
I[c,d]P	0,207	0,080	0,052	1,654	0,323
Nap	3,034	2,946	1,230	6,654	1,163
Phe	4,162	4,297	2,823	5,208	0,642
Pyr	0,571	0,543	0,401	0,907	0,127
EU 4	0,611	0,605	0,417	0,949	0,124



Rys 2 Profil węglowodorów aromatycznych w ziarnie badanych gatunków zbóż (średniowa granica oznaczenia)



Rys 3 Wykres punktowy wskaźników diagnostycznych WWA Flu/(Flu + Pyr) i Ant/(Ant + Phe) z zaznaczonymi obszarami odpowiadającymi różnym źródłom emisji.

4. Podsumowanie

- Stężenia węglowodorów aromatycznych w ziarnie pochodzącym ze zbiorów krajowych jest niskie.
- Maksymalny poziom wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych ustanowiony dla przetworzonej żywności na bazie zbóż oraz żywności dla niemowląt i małych dzieci jako wartość odniesienia został przekroczony w 13 % próbek. Przekroczenia wskazanej wartości dotyczyły głównie próbek ziarna kukurydzy.
- Profil wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych sugeruje zanieczyszczenie związane ze spalaniem produktów ropopochodnych.
- Ryzyko zdrowotne związane z obecnością węglowodorów aromatycznych w ziarnie zbóż jest niskie.



**INSTYTUT BIOTECHNOLOGII
PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO
im. prof. Wacława Dąbrowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

ZA ZAKŁAD BEZPIECZEŃSTWA
I ANALIZY CHEMICZNEJ ŻYWNOŚCI

RAKOWIECKA 36
02-532 WARSZAWA
T: +48 22 606 38 97
za@ibprs.pl