



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

ZIARNO ZBÓŻ

ze zbiorów 2020 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 2020 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 tłuszczo 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 326 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 (owies, pszenica). W przypadku sumy wskaźnikowych węglowodorów przekroczenia wartości 1 ug kg-1 obserwowano w przypadku wszystkich badanych gatunków. Przy średnich wartościach wyłącznie w przypadku pszenicy i pszenżyta 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 fluorantrenu 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	0,323	0,318	0,006	0,624	0,135
Acy	0,083	0,082	0,020	0,137	0,025
Ant	0,324	0,292	0,197	0,532	0,096
B[a]A	0,204	0,120	0,047	1,033	0,242
B[a]P	0,222	0,121	0,040	1,265	0,316
B[b]Fl	0,300	0,191	0,100	1,379	0,305
B[c]F	0,204	0,178	0,124	0,459	0,078
B[c]Phe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B[ghi]P	0,148	0,080	0,052	0,793	0,176
B[j]Fl	0,135	0,087	0,037	0,709	0,156
B[k]Fl	0,149	0,092	0,047	0,752	0,160
Chr	0,582	0,507	0,336	1,456	0,276
CP[c,d]P	0,005	0,000	0,000	0,026	0,008
DB[a,h]A	0,429	0,405	0,204	0,785	0,165
DB[a,e]Pyr	0,008	0,004	0,000	0,035	0,009
DB[a,h]Pyr	0,015	0,007	0,001	0,103	0,025
DB[a,i]Pyr	0,025	0,018	0,005	0,121	0,030
DB[a,l]Pyr	0,004	0,003	0,000	0,019	0,005
Flu	1,173	1,022	0,551	2,397	0,504
Fl	0,783	0,684	0,245	2,353	0,407
I[c,d]P	0,203	0,139	0,055	0,972	0,205
Nap	2,488	2,227	1,503	6,602	1,066
Phe	4,976	4,454	3,006	13,204	2,132
Pyr	0,865	0,696	0,458	1,793	0,383
EU 4	1,308	0,966	0,569	5,069	1,129

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	0,423	0,357	0,050	2,731	0,519
Acy	0,226	0,205	0,046	1,010	0,202
Ant	0,253	0,256	0,120	0,457	0,084
B[a]A	0,254	0,253	0,000	0,681	0,123
B[a]P	0,122	0,120	0,000	0,373	0,088
B[b]Fl	0,081	0,072	0,000	0,268	0,057
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	0,154	0,144	0,000	0,328	0,088
B[j]Fl	0,105	0,080	0,034	0,316	0,065
B[k]Fl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Chr	0,111	0,103	0,054	0,260	0,046
CP[c,d]P	0,029	0,029	0,000	0,073	0,017
DB[a,h]A	0,017	0,008	0,000	0,152	0,032
DB[a,e]Pyr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DB[a,h]Pyr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DB[a,i]Pyr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DB[a,l]Pyr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Flu	1,074	1,005	0,599	1,852	0,306
Fl	0,248	0,223	0,084	0,604	0,125
I[c,d]P	0,109	0,106	0,000	0,215	0,048
Nap	2,934	2,769	1,897	5,008	0,710
Phe	2,788	2,634	1,950	5,239	0,742
Pyr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
EU 4	0,567	0,519	0,228	1,405	0,255

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	1,222	0,891	0,189	8,810	1,610
Acy	0,322	0,219	0,059	2,758	0,511
Ant	0,470	0,417	0,000	0,880	0,207
B[a]A	0,193	0,156	0,000	0,512	0,136
B[a]P	0,118	0,083	0,047	0,313	0,069
B[b]Fl	0,196	0,163	0,087	0,414	0,089
B[c]F	0,187	0,116	0,030	1,253	0,258
B[c]Phe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B[ghi]P	0,112	0,076	0,038	0,327	0,069
B[j]Fl	0,091	0,073	0,032	0,250	0,052
B[k]Fl	0,104	0,086	0,038	0,190	0,046
Chr	0,387	0,358	0,225	0,715	0,126
CP[c,d]P	0,039	0,040	0,000	0,091	0,026
DB[a,h]A	0,491	0,294	0,111	2,829	0,567
DB[a,e]Pyr	0,009	0,004	0,000	0,043	0,012
DB[a,h]Pyr	0,003	0,003	0,000	0,010	0,003
DB[a,i]Pyr	0,010	0,008	0,000	0,031	0,009
DB[a,l]Pyr	0,003	0,002	0,000	0,016	0,004
Flu	1,312	1,323	0,000	2,086	0,504
Fl	1,788	1,311	0,455	13,108	2,388
I[c,d]P	1,312	1,333	0,125	2,600	0,606
Nap	2,177	1,966	0,003	4,287	0,980
Phe	7,188	6,790	0,010	14,111	3,216
Pyr	0,976	0,913	0,452	2,235	0,403
EU 4	0,894	0,769	0,407	1,776	0,400

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

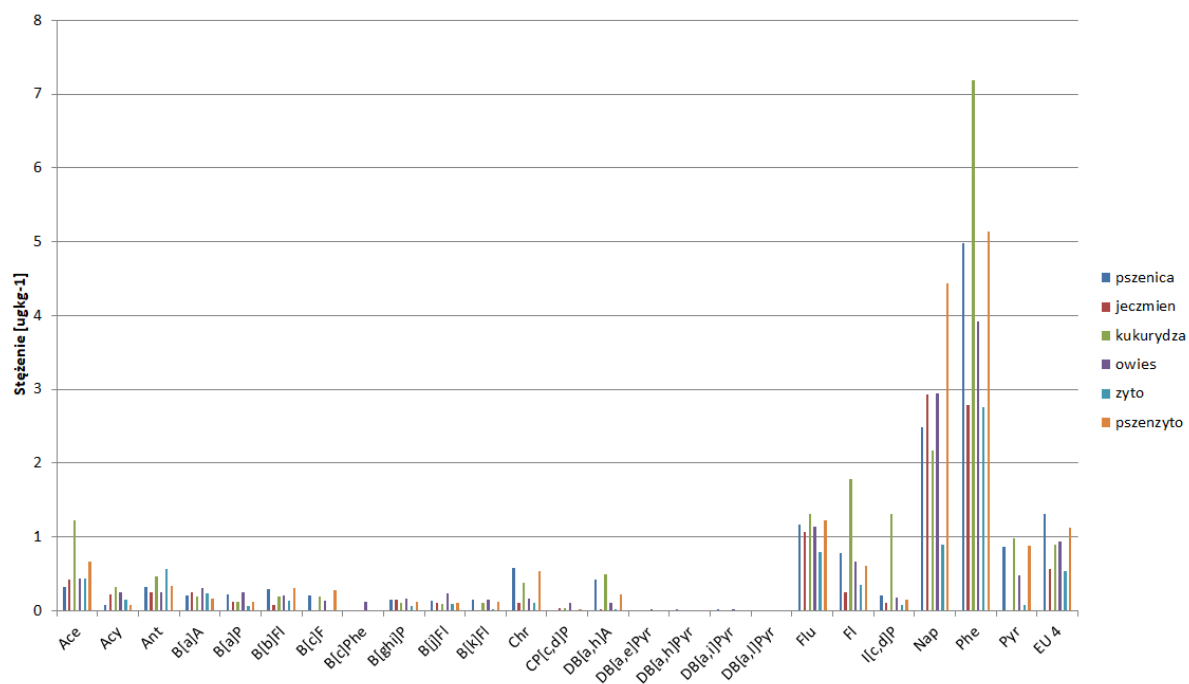
Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,435	0,385	0,092	1,743	0,326
Acy	0,246	0,221	0,065	0,570	0,125
Ant	0,252	0,205	0,101	0,502	0,098
B[a]A	0,304	0,262	0,106	0,712	0,153
B[a]P	0,251	0,118	0,036	2,750	0,538
B[b]Fl	0,213	0,176	0,073	0,580	0,131
B[c]F	0,137	0,103	0,000	0,530	0,111
B[c]Phe	0,126	0,000	0,000	1,986	0,423
B[ghi]P	0,167	0,130	0,012	0,503	0,133
B[j]Fl	0,239	0,210	0,067	0,594	0,129
B[k]Fl	0,144	0,079	0,031	0,697	0,165
Chr	0,166	0,089	0,051	0,610	0,149
CP[c,d]P	0,105	0,042	0,007	0,544	0,140
DB[a,h]A	0,111	0,024	0,000	0,691	0,183
DB[a,e]Pyr	0,022	0,003	0,000	0,089	0,030
DB[a,h]Pyr	0,003	0,000	0,000	0,054	0,012
DB[a,i]Pyr	0,019	0,000	0,000	0,081	0,028
DB[a,l]Pyr	0,005	0,002	0,000	0,032	0,008
Flu	1,145	1,058	0,514	3,162	0,524
Fl	0,664	0,427	0,161	2,633	0,601
I[c,d]P	0,186	0,097	0,000	0,720	0,208
Nap	2,943	2,754	1,897	4,109	0,629
Phe	3,918	3,423	1,649	11,679	1,913
Pyr	0,483	0,444	0,031	1,026	0,265
EU 4	0,934	0,639	0,347	3,227	0,651

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	0,436	0,383	0,211	0,790	0,159
Acy	0,147	0,133	0,012	0,345	0,079
Ant	0,561	0,418	0,216	1,382	0,332
B[a]A	0,232	0,252	0,042	0,370	0,099
B[a]P	0,067	0,046	0,000	0,388	0,080
B[b]Fl	0,132	0,124	0,000	0,420	0,092
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	0,030	0,000	0,349	0,081
B[j]Fl	0,099	0,083	0,000	0,240	0,065
B[k]Fl	0,016	0,000	0,000	0,229	0,051
Chr	0,101	0,083	0,025	0,355	0,070
CP[c,d]P	0,014	0,014	0,000	0,064	0,015
DB[a,h]A	0,023	0,005	0,000	0,225	0,051
DB[a,e]Pyr	0,004	0,001	0,000	0,056	0,011
DB[a,h]Pyr	0,004	0,001	0,000	0,056	0,011
DB[a,i]Pyr	0,001	0,000	0,000	0,011	0,003
DB[a,l]Pyr	0,004	0,001	0,000	0,056	0,011
Flu	0,794	0,759	0,000	1,492	0,337
Fl	0,356	0,287	0,098	0,902	0,223
I[c,d]P	0,084	0,069	0,000	0,531	0,117
Nap	0,895	0,027	0,000	6,715	1,593
Phe	2,765	2,676	0,458	4,345	0,728
Pyr	0,078	0,000	0,000	0,783	0,222
EU 4	0,531	0,541	0,188	1,505	0,272

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	0,667	0,729	0,017	1,325	0,300
Acy	0,077	0,062	0,021	0,235	0,051
Ant	0,331	0,327	0,182	0,666	0,107
B[a]A	0,169	0,161	0,058	0,711	0,129
B[a]P	0,116	0,099	0,032	0,532	0,093
B[b]Fl	0,311	0,286	0,045	1,180	0,217
B[c]F	0,285	0,166	0,103	2,443	0,466
B[c]Phe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
B[ghi]P	0,117	0,101	0,037	0,407	0,072
B[j]Fl	0,105	0,089	0,032	0,340	0,073
B[k]Fl	0,121	0,117	0,042	0,415	0,072
Chr	0,534	0,489	0,243	1,029	0,164
CP[c,d]P	0,026	0,000	0,000	0,363	0,073
DB[a,h]A	0,218	0,189	0,052	0,604	0,155
DB[a,e]Pyr	0,010	0,003	0,000	0,054	0,015
DB[a,h]Pyr	0,009	0,006	0,000	0,053	0,013
DB[a,i]Pyr	0,013	0,012	0,000	0,037	0,008
DB[a,l]Pyr	0,005	0,003	0,000	0,023	0,006
Flu	1,223	1,201	0,487	3,083	0,532
Fl	0,612	0,578	0,052	1,367	0,282
I[c,d]P	0,150	0,133	0,063	0,512	0,094
Nap	4,430	4,668	1,456	7,810	1,541
Phe	5,133	4,681	3,372	11,784	1,875
Pyr	0,888	0,776	0,068	2,630	0,592
EU 4	1,130	1,054	0,559	3,452	0,554



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	0,324	0,318	0,040	0,624	0,131
Acy	0,083	0,082	0,040	0,137	0,023
Ant	0,324	0,292	0,197	0,532	0,096
B[a]A	0,205	0,120	0,070	1,033	0,242
B[a]P	0,229	0,121	0,085	1,265	0,312
B[b]Fl	0,300	0,191	0,100	1,379	0,305
B[c]F	0,204	0,178	0,124	0,459	0,078
B[c]Phe	0,045	0,045	0,045	0,045	0,000
B[ghi]P	0,206	0,160	0,160	0,793	0,154
B[j]Fl	0,136	0,087	0,055	0,709	0,155
B[k]Fl	0,149	0,092	0,055	0,752	0,160
Chr	0,582	0,507	0,336	1,456	0,276
CP[c,d]P	0,025	0,025	0,025	0,026	0,000
DB[a,h]A	0,429	0,405	0,204	0,785	0,165
DB[a,e]Pyr	0,040	0,040	0,040	0,040	0,000
DB[a,h]Pyr	0,044	0,040	0,040	0,103	0,015
DB[a,i]Pyr	0,047	0,040	0,040	0,121	0,022
DB[a,l]Pyr	0,040	0,040	0,040	0,040	0,000
Flu	1,173	1,022	0,551	2,397	0,504
Fl	0,783	0,684	0,245	2,353	0,407
I[c,d]P	0,204	0,139	0,080	0,972	0,205
Nap	2,488	2,227	1,503	6,602	1,066
Phe	4,976	4,454	3,006	13,204	2,132
Pyr	0,865	0,696	0,458	1,793	0,383
EU 4	1,316	0,966	0,627	5,069	1,125

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	0,423	0,357	0,050	2,731	0,519
Acy	0,226	0,205	0,046	1,010	0,202
Ant	0,253	0,256	0,120	0,457	0,084
B[a]A	0,257	0,253	0,070	0,681	0,117
B[a]P	0,139	0,120	0,085	0,373	0,070
B[b]Fl	0,091	0,072	0,060	0,268	0,048
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	0,191	0,160	0,160	0,328	0,054
B[j]Fl	0,106	0,080	0,055	0,316	0,063
B[k]Fl	0,055	0,055	0,055	0,055	0,000
Chr	0,111	0,103	0,054	0,260	0,046
CP[c,d]P	0,034	0,029	0,025	0,073	0,013
DB[a,h]A	0,088	0,085	0,085	0,152	0,014
DB[a,e]Pyr	0,040	0,040	0,040	0,040	0,000
DB[a,h]Pyr	0,040	0,040	0,040	0,040	0,000
DB[a,i]Pyr	0,040	0,040	0,040	0,040	0,000
DB[a,l]Pyr	0,040	0,040	0,040	0,040	0,000
Flu	1,074	1,005	0,599	1,852	0,306
Fl	0,248	0,223	0,084	0,604	0,125
I[c,d]P	0,116	0,106	0,080	0,215	0,038
Nap	2,934	2,769	1,897	5,008	0,710
Phe	2,788	2,634	1,950	5,239	0,742
Pyr	0,025	0,025	0,025	0,025	0,000
EU 4	0,598	0,523	0,373	1,405	0,230

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	1,222	0,891	0,189	8,810	1,610
Acy	0,322	0,219	0,059	2,758	0,511
Ant	0,472	0,417	0,040	0,880	0,204
B[a]A	0,197	0,156	0,070	0,512	0,131
B[a]P	0,127	0,085	0,085	0,313	0,062
B[b]Fl	0,196	0,163	0,087	0,414	0,089
B[c]F	0,188	0,116	0,055	1,253	0,257
B[c]Phe	0,045	0,045	0,045	0,045	0,000
B[ghi]P	0,171	0,160	0,160	0,327	0,035
B[j]Fl	0,094	0,073	0,055	0,250	0,049
B[k]Fl	0,105	0,086	0,055	0,190	0,044
Chr	0,387	0,358	0,225	0,715	0,126
CP[c,d]P	0,044	0,040	0,025	0,091	0,020
DB[a,h]A	0,491	0,294	0,111	2,829	0,567
DB[a,e]Pyr	0,040	0,040	0,040	0,043	0,001
DB[a,h]Pyr	0,040	0,040	0,040	0,040	0,000
DB[a,i]Pyr	0,040	0,040	0,040	0,040	0,000
DB[a,l]Pyr	0,040	0,040	0,040	0,040	0,000
Flu	1,313	1,323	0,020	2,086	0,502
Fl	1,788	1,311	0,455	13,108	2,388
I[c,d]P	1,312	1,333	0,125	2,600	0,606
Nap	2,178	1,966	0,016	4,287	0,979
Phe	7,189	6,790	0,040	14,111	3,213
Pyr	0,976	0,913	0,452	2,235	0,403
EU 4	0,907	0,771	0,467	1,776	0,388

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

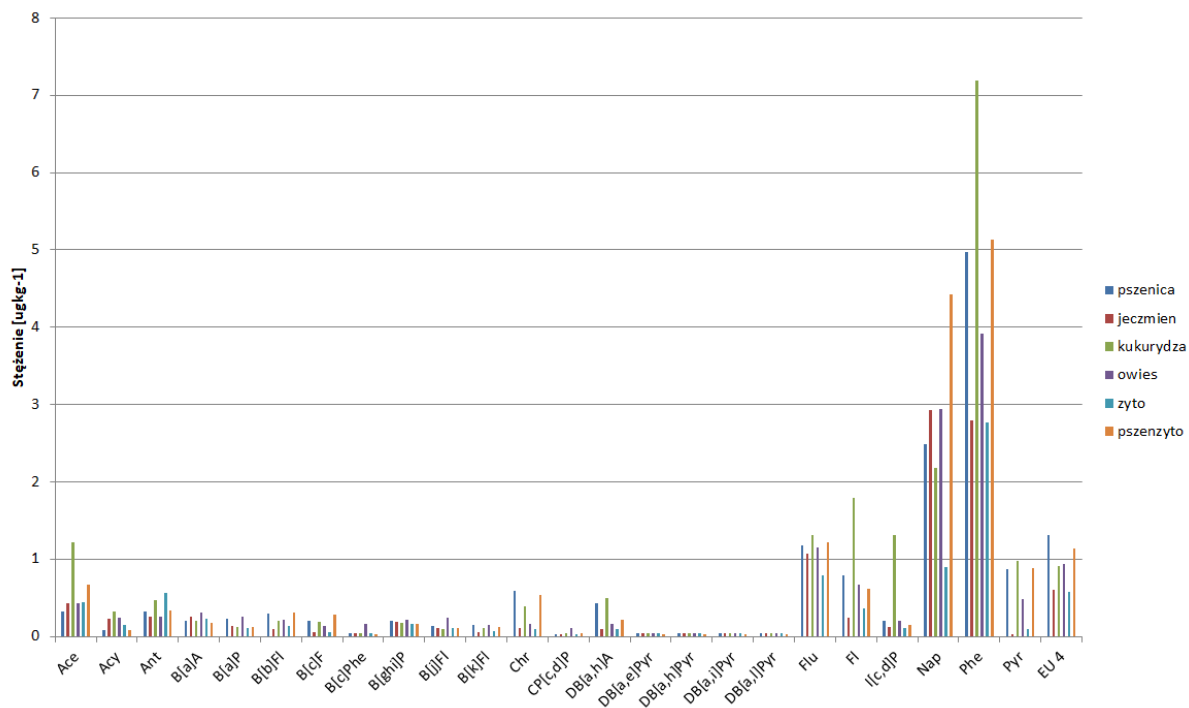
Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,435	0,385	0,092	1,743	0,326
Acy	0,246	0,221	0,065	0,570	0,125
Ant	0,252	0,205	0,101	0,502	0,098
B[a]A	0,304	0,262	0,106	0,712	0,153
B[a]P	0,259	0,118	0,085	2,750	0,535
B[b]Fl	0,213	0,176	0,073	0,580	0,131
B[c]F	0,140	0,103	0,055	0,530	0,108
B[c]Phe	0,166	0,045	0,045	1,986	0,411
B[ghi]P	0,210	0,160	0,160	0,503	0,107
B[j]Fl	0,239	0,210	0,067	0,594	0,129
B[k]Fl	0,147	0,079	0,055	0,697	0,163
Chr	0,166	0,089	0,051	0,610	0,149
CP[c,d]P	0,108	0,042	0,025	0,544	0,138
DB[a,h]A	0,155	0,085	0,085	0,691	0,161
DB[a,e]Pyr	0,047	0,040	0,040	0,089	0,015
DB[a,h]Pyr	0,041	0,040	0,040	0,054	0,003
DB[a,i]Pyr	0,045	0,040	0,040	0,081	0,012
DB[a,l]Pyr	0,040	0,040	0,040	0,040	0,000
Flu	1,145	1,058	0,514	3,162	0,524
Fl	0,664	0,427	0,161	2,633	0,601
I[c,d]P	0,195	0,097	0,080	0,720	0,202
Nap	2,943	2,754	1,897	4,109	0,629
Phe	3,918	3,423	1,649	11,679	1,913
Pyr	0,483	0,444	0,031	1,026	0,265
EU 4	0,941	0,643	0,383	3,227	0,646

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

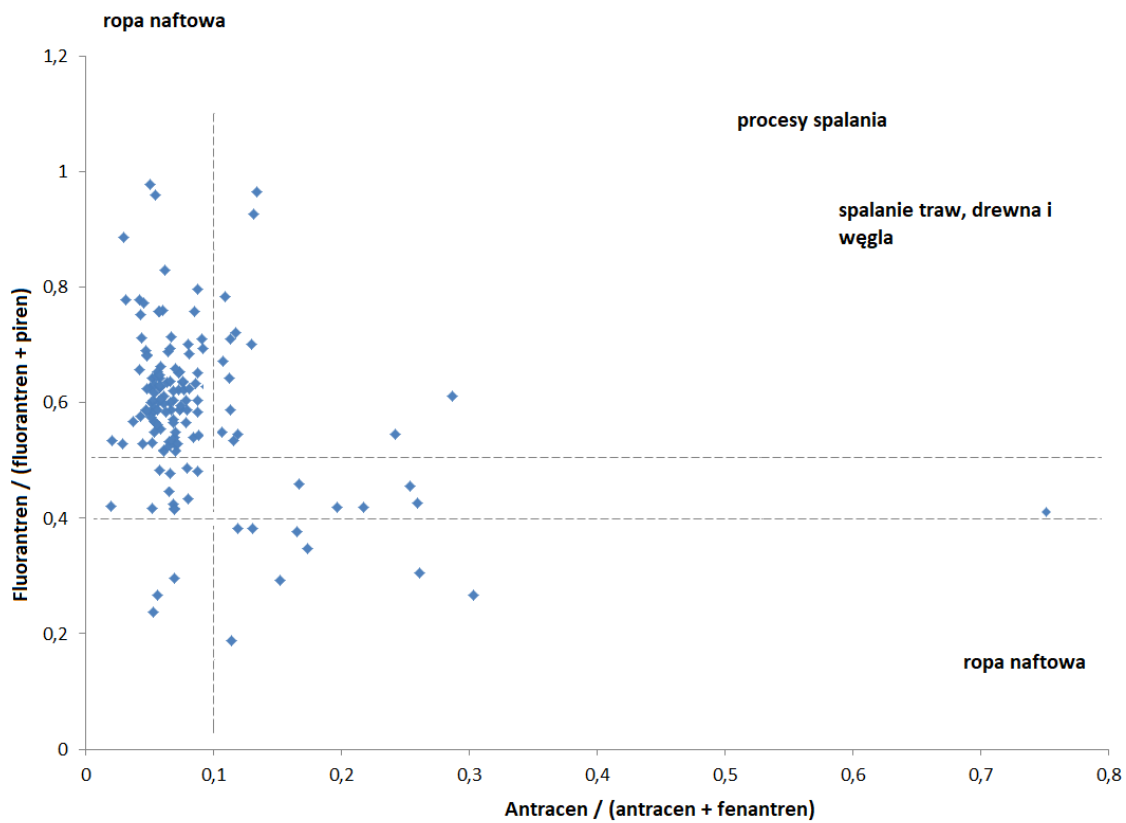
Związek	Średnia	Mediana	Min	Max	Odchylenie standardowe
Ace	0,436	0,383	0,211	0,790	0,159
Acy	0,149	0,133	0,040	0,345	0,076
Ant	0,561	0,418	0,216	1,382	0,332
B[a]A	0,234	0,252	0,070	0,370	0,094
B[a]P	0,104	0,085	0,085	0,388	0,062
B[b]Fl	0,138	0,124	0,060	0,420	0,085
B[c]F	0,055	0,055	0,055	0,055	0,000
B[c]Phe	0,045	0,045	0,045	0,045	0,000
B[ghi]P	0,168	0,160	0,160	0,349	0,037
B[j]Fl	0,104	0,083	0,055	0,240	0,060
B[k]Fl	0,065	0,055	0,055	0,229	0,036
Chr	0,101	0,083	0,025	0,355	0,070
CP[c,d]P	0,027	0,025	0,025	0,064	0,008
DB[a,h]A	0,093	0,085	0,085	0,225	0,030
DB[a,e]Pyr	0,041	0,040	0,040	0,056	0,003
DB[a,h]Pyr	0,041	0,040	0,040	0,056	0,003
DB[a,i]Pyr	0,040	0,040	0,040	0,040	0,000
DB[a,l]Pyr	0,041	0,040	0,040	0,056	0,003
Flu	0,795	0,759	0,020	1,492	0,335
Fl	0,356	0,287	0,098	0,902	0,223
I[c,d]P	0,113	0,080	0,080	0,531	0,103
Nap	0,902	0,027	0,016	6,715	1,589
Phe	2,765	2,676	0,458	4,345	0,728
Pyr	0,100	0,025	0,025	0,783	0,214
EU 4	0,578	0,588	0,247	1,505	0,250

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	0,667	0,729	0,017	1,325	0,300
Acy	0,078	0,062	0,021	0,235	0,050
Ant	0,331	0,327	0,182	0,666	0,107
B[a]A	0,170	0,161	0,058	0,711	0,129
B[a]P	0,122	0,099	0,057	0,532	0,090
B[b]Fl	0,312	0,286	0,060	1,180	0,216
B[c]F	0,285	0,166	0,103	2,443	0,466
B[c]Phe	0,034	0,045	0,000	0,045	0,020
B[ghi]P	0,158	0,160	0,057	0,407	0,063
B[j]Fl	0,107	0,089	0,048	0,340	0,072
B[k]Fl	0,122	0,117	0,055	0,415	0,071
Chr	0,534	0,489	0,243	1,029	0,164
CP[c,d]P	0,037	0,025	0,000	0,363	0,070
DB[a,h]A	0,220	0,189	0,069	0,604	0,153
DB[a,e]Pyr	0,032	0,040	0,000	0,054	0,017
DB[a,h]Pyr	0,033	0,040	0,001	0,053	0,015
DB[a,i]Pyr	0,034	0,040	0,005	0,040	0,013
DB[a,l]Pyr	0,032	0,040	0,000	0,040	0,016
Flu	1,223	1,201	0,487	3,083	0,532
Fl	0,612	0,578	0,052	1,367	0,282
I[c,d]P	0,151	0,133	0,080	0,512	0,093
Nap	4,430	4,668	1,456	7,810	1,541
Phe	5,133	4,681	3,372	11,784	1,875
Pyr	0,888	0,776	0,068	2,630	0,592
EU 4	1,138	1,054	0,603	3,452	0,548



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



Rys 3 Wykres punktowy wskaźników diagnostycznych WWA $\text{Flu}/(\text{Flu} + \text{Pyr})$ i $\text{Ant}/(\text{Ant} + \text{Phe})$ 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 11 % próbek.
- 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