



**Uniwersytet Medyczny w Białymstoku**

**DZIEDZINA NAUKI MEDYCZNE I NAUKI O ZDROWIU**

**DYSCYPLINA NAUKI FARMACEUTYCZNE**

**ROZPRAWA DOKTORSKA**

**Ocena bezpieczeństwa pod względem zawartości pierwiastków toksycznych  
oraz właściwości przeciwutleniających  
wybranej żywności spożywanej przez dzieci**

**Anita Żmudzińska**

**Promotor:** prof. dr hab. n. farm. Katarzyna Socha

**Promotor pomocniczy:** dr hab. n. farm. Anna Puścion – Jakubik

Zakład Bromatologii

Wydział Farmaceutyczny z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej

Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

Kierownik jednostki: prof. dr hab. n. farm. Katarzyna Socha

Rozprawa doktorska została zrealizowana w ramach kształcenia w Szkole Doktorskiej UMB

Białystok, 2023



## **Medical University of Białystok**

FIELD OF SCIENCE **MEDICAL AND HEALTH SCIENCES**

SCIENTIFIC DISCIPLINE **PHARMACEUTICAL SCIENCES**

### **DOCTORAL THESIS**

**Safety assessment in terms of the content of toxic elements  
and antioxidant properties  
of selected foods consumed by children**

**Anita Żmudzińska**

**First supervisor:** prof. dr hab. n. farm. Katarzyna Socha

**Assisting supervisor:** : dr hab. n. farm. Anna Puścion – Jakubik

Department of Bromatology

Faculty of Pharmacy with the Department of Laboratory Medicine

Medical University of Białystok

Head of department: prof. Ph.D. n. farm Katarzyna Socha

The doctoral thesis was carried out as a part of education at the Doctoral School of UMB

Białystok, 2023

## Wykaz skrótów

<b>3-MCPD</b>	- 3-monochloropropano-1,2-diol
<b>AAS</b>	- ang. <i>Atomic Absorption Spectrometry</i> , Atomowa Spektrometria Absorpcyjna
<b>AI</b>	- ang. <i>Adequate Intake</i> , wystarczające spożycie
<b>As</b>	- arsen
<b>BMDL</b>	- ang. <i>Benchmark Dose Lower Confidence Limits</i> , dolna granica najniższej dawki wyznaczającej
<b>Ca</b>	- wapń
<b>Cd</b>	- kadm
<b>CR</b>	- ang. <i>Cancer Risk</i> , ryzyko zachorowania na raka
<b>Cu</b>	- miedź
<b>DNA</b>	- ang. <i>Deoxyribonucleic acid</i> , kwas deoksyrybonukleinowy
<b>DPPH</b>	- ang. <i>2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl</i> , 2,2-difenylo-1-pikrylohydrazyl
<b>EAR</b>	- ang. <i>Estimated Average Requirement</i> , średnie zapotrzebowanie grupy
<b>EDI</b>	- ang. <i>Estimated Daily Intake</i> , szacowane dzienne pobranie
<b>EFSA</b>	- ang. <i>The European Food Safety Authority</i> , Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności
<b>EWI</b>	- ang. <i>Estimated Weekly Intake</i> , szacowane tygodniowe pobranie
<b>Fe</b>	- żelazo
<b>Hg</b>	- rtęć
<b>HI</b>	- ang. <i>Hazard Index</i> , wskaźnik ryzyka
<b>IARC</b>	- ang. <i>International Agency for Research on Cancer</i> , Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem
<b>ICP-MS</b>	- ang. <i>Inductively Coupled Plasma -Mass Spectrometry</i> , spektrometria mas z plazmą indukcyjnie sprzężoną
<b>IQ</b>	- ang. <i>Intelligence Quotient</i> , iloraz inteligencji
<b>KED</b>	- ang. <i>Kinetic Energy Discrimination</i> , dyskryminacja energii kinetycznej
<b>LOD</b>	- ang. <i>Limit of Detection</i> , granica wykrywalności
<b>MeHg</b>	- metylortęć
<b>MOH</b>	- ang. <i>Mineral Oil Hydrocarbons</i> , węglowodory olejów mineralnych

<b>P</b>	- fosfor
<b>Pb</b>	- ołów
<b>PTMI</b>	- ang. <i>Provisional Tolerable Monthly Intake</i> , tymczasowe tolerowane miesięczne pobranie
<b>PTWI</b>	- ang. <i>Provisional Tolerable Weekly Intake</i> , tymczasowe tolerowane tygodniowe pobranie
<b>ROS</b>	- ang. <i>Reactive Oxygen Species</i> , reaktywne formy tlenu
<b>Se</b>	- selen
<b>SOD</b>	- ang. <i>Superoxide Dismutase</i> , dysmutaza ponadtlenkowa
<b>TDI</b>	- ang. <i>Tolerable Daily Intake</i> , tolerowane dzienne pobranie
<b>THQ</b>	- ang. <i>Target Hazard Quotient</i> , docelowy iloraz ryzyka
<b>TWI</b>	- ang. <i>Tolerable Weekly Intake</i> , tolerowane tygodniowe spożycie
<b>TPC</b>	- ang. <i>Total Phenolic Content</i> , całkowita zawartość związków fenolowych
<b>UE</b>	- Unia Europejska
<b>WWA</b>	- Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne
<b>Zn</b>	- cynk



## Spis treści

Wykaz skrótów.....	3
1. Wykaz publikacji będących podstawą rozprawy doktorskiej .....	6
2. Wprowadzenie.....	7
3. Cel pracy z uzasadnieniem podjętej tematyki badawczej .....	12
4. Realizacja celów naukowych, materiały i metody badawcze, wyniki badań.....	14
4.1 Przegląd piśmiennictwa związanego z tematyką pracy doktorskiej.....	14
4.2 Analiza rynku, wytypowanie i pozyskanie asortymentu do badań.....	14
4.3 Przygotowanie prób i ocena zawartości pierwiastków antyoksydacyjnych, aktywności przeciwutleniającej i zawartości pierwiastków toksycznych .....	15
4.4 Analiza statystyczna .....	16
4.5 Wyniki badań.....	16
5. Podsumowanie wyników i dyskusja .....	20
6. Wnioski .....	24
7. Piśmiennictwo .....	25
8. Graficzne streszczenie pracy .....	30
9. Streszczenie .....	31
Streszczenie w języku polskim.....	31
Streszczenie w języku angielskim .....	32
10. Assessment of the Risk of Contamination of Food for Infants and Toddlers .....	33
11. Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5-3 Years on the Polish Market .....	54
12. Evaluation of Selected Antioxidant Parameters in Ready-to-Eat Food for Infants and Young Children .....	75
13. Zgoda Komisji Bioetycznej.....	94
14. Oświadczenia autora rozprawy doktorskiej .....	95
15. Oświadczenia współautorów publikacji stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej... ..	96
16. Dorobek naukowy i działalność organizacyjna.....	108
16.1 Wykaz publikacji stanowiących rozprawę doktorską.....	108
16.2 Wykaz innych publikacji naukowych.....	108
16.3 Wykaz doniesień zjazdowych.....	110
16.4 Wykaz innych aktywności naukowych .....	111
17. Załączniki .....	113

## **1. Wykaz publikacji będących podstawą rozprawy doktorskiej**

Łączna wartość Impact Factor dla cyklu publikacji: 18,506

Łączna ilość punktów MNiSW dla cyklu publikacji: 420

### **Lista publikacji stanowiących rozprawę doktorską:**

**Publikacja nr 1 (P.1) - Mielech A.,** Puścion-Jakubik A., Socha, K. Assessment of the Risk of Contamination of Food for Infants and Toddlers.

Nutrients 2021; 13, doi: 10.3390/nu13072358

IF: 6,706; MNiSW: 140 pkt.

**Publikacja nr 2 (P.2) - Żmudzińska A.,** Puścion-Jakubik A., Bielecka J., Grabia M., Soroczyńska J., Mielcarek K., Socha K. Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5-3 Years on the Polish Market.

Nutrients 2022; 14, doi: 10.3390/nu14112325

IF: 5,900; MNiSW: 140 pkt.

**Publikacja nr 3 (P.3) - Żmudzińska A.,** Puścion-Jakubik A., Soroczyńska J., Socha K. Evaluation of Selected Antioxidant Parameters in Ready-to-Eat Food for Infants and Young Children.

Nutrients 2023; 15, doi: 10.3390/nu15143160

IF: 5,900; MNiSW: 140 pkt.

## 2. Wprowadzenie

Właściwe odżywianie niemowląt i małych dzieci jest kluczowym czynnikiem determinującym prawidłowy wzrost i rozwój, a także warunkuje lepszy stan zdrowia w późniejszym wieku. Zgodnie z rekomendacjami Światowej Organizacji Zdrowia przez pierwsze 6 miesięcy życia dziecko powinno być karmione wyłącznie mlekiem matki, a następnie zaleca się wprowadzanie pokarmów uzupełniających [1]. Literatura wskazuje, iż optymalne żywienie w pierwszych 1000 dni życia jest szczególnie ważne w zmniejszeniu zachorowalności i śmiertelności dzieci, a także wspieraniu prawidłowego rozwoju mózgu i obwodowego układu nerwowego. Okres poniemowlęcy to najważniejszy etap w formułowaniu prawidłowych nawyków żywieniowych. Do 3 roku życia wykształcają się preferencje dotyczące smaku i określonych grup produktów, dlatego edukacja rodziców dotycząca aspektu zdrowotnego i toksykologicznego żywności dla dzieci jest kluczowa w kształtowaniu się prawidłowych wyborów żywieniowych [2]. Warto podkreślić, że odżywianie znacząco przyczynia się do rozwoju umiejętności poznawczych, motorycznych, społecznych i emocjonalnych u dzieci. Niedobory żywieniowe w czasie pierwszych 3 lat życia mogą niekorzystnie oddziaływać na dalszy rozwój, funkcjonowanie i zdrowie w wieku dziecięcym, dorosłym, a także podeszłym. W związku z powyższym, optymalne żywienie dzieci powinno zapewniać podaż wszystkich składników odżywczych oraz opierać się na produktach bezpiecznych i wolnych od zanieczyszczeń [3]. Odpowiednio zbilansowany sposób żywienia, obejmujący właściwą podaż warzyw i owoców, zbóż, produktów mlecznych i wysokiej jakości tłuszczu wpływa pozytywnie zarówno na fizjologiczny rozwój dzieci, jak i modulację odporności w przebiegu chorób cywilizacyjnych. Pierwiastki, takie jak Zn (cynk), Cu (miedź) i Se (selen) uczestniczą w obronie antyoksydacyjnej, a także są niezbędne w prawidłowym wzroście i rozwoju niemowląt.

Należy zauważyć, że spożywanie żywności pochodzenia roślinnego niesie wiele korzyści zdrowotnych, z uwagi na dużą zawartość składników bioaktywnych w tych produktach, w tym przeciwutleniaczy [4]. Flawonoidy oraz ich pochodne, poza zdolnością do wychwytywania wolnych rodników, upośledzają syntezę m.in. reaktywnych form tlenu (ROS) przez neutrofile i inne komórki fagocytarne, wpływając na redukcję stresu oksydacyjnego [5]. Z uwagi na fakt, że przeciwutleniacze wykazują działanie ochronne w stosunku do pierwiastków toksycznych, istotna jest ocena ich zawartości w produktach spożywanych przez dzieci.

Jednym z mikroelementów niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu jest Cu. Ten pierwiastek jest szczególnie istotny w procesach krwiotworzenia, prawidłowego funkcjonowania układu immunologicznego oraz eliminacji wolnych rodników [6]. Istotnym aspektem działania Cu jest pośredniczenie w licznych procesach metabolicznych jako kofaktor dla wielu enzymów, w tym dysmutazy ponadtlenkowej (SOD), oksydazy cytochromu C, tyrozynazy, beta-hydroksylazy dopaminy oraz oksydazy lizylowej [7]. Warto podkreślić, że Cu może wykazywać działanie przeciwutleniające oraz utleniające, dlatego też istotne jest, aby zachować odpowiednią równowagę w podaży pomiędzy innymi składnikami mineralnymi, a szczególnie Zn [8]. Podwyższony stosunek Cu do Zn może osłabić właściwości antyoksydacyjne wielu enzymów, dlatego tak ważne jest utrzymanie Cu

i Zn w homeostazie [8]. Ze względu na specyficzne działanie Cu, zarówno nadmiar, jak i niedobór tego pierwiastka, może spowodować niekorzystne skutki zdrowotne, szczególnie wśród dzieci [9]. Niewystarczająca podaż Cu prowadzi do upośledzenia funkcjonowania układu nerwowego, układu immunologicznego oraz zaburzeń sercowo-naczyniowych. Z kolei nadmierne stężenia Cu wywołują uszkodzenia oksydacyjne DNA, a także nasilają utlenianie lipidów i białek [10]. Źródłem Cu są owoce morza, wołowina i podroby, produkty mleczne, zielone warzywa, warzywa strączkowe, zboża i kakao [8]. Zgodnie z rekomendacjami zalecane spożycie Cu dla dzieci do 3 lat wynosi 0,25-0,3 mg/dzień [11].

Kolejny mikrośladnik - Zn, który jest szczególnie istotny w prawidłowym wzroście i rozwoju dzieci [12]. Pierwiastek ten jest składnikiem dysmutazy ponadtlenkowej Cu-Zn (Cu/Zn SOD) i bierze udział w ochronie antyoksydacyjnej [11]. Ponadto, uczestniczy w syntezie białek, funkcjach regulacyjnych enzymów, podziale komórkowym, wzroście i prawidłowym funkcjonowaniu układu odpornościowego [13]. Ten pierwiastek jest jednym z najczęściej występujących deficytowych mikrośladników [14]. Wykazano, że nawet łagodny niedobór może zaburzać rozwój intelektualny i psychomotoryczny dzieci, a także zwiększać podatność na infekcje [15]. Niedostateczne stężenie Zn objawia się zmniejszeniem łaknienia, biegunką, wypadaniem włosów oraz opóźnieniem wzrostu u dzieci. Z kolei nadmiar Zn może zaburzać wchłanianie Cu i żelaza (Fe), a także wywoływać ostre stany objawiające się wymiotami, bólem brzucha i biegunką [8]. Najwięcej Zn znajduje się w produktach pochodzenia zwierzęcego oraz zbożach, orzechach i roślinach strączkowych. Niektóre składniki, takie jak błonnik pokarmowy czy fityniany, istotnie ograniczają przyswajalność Zn, dlatego też pomimo iż powszechnie występuje on w żywności, niedobory tego pierwiastka są częste [16]. Zgodnie z rekomendacjami EAR (średnie zapotrzebowanie grupy) dla dzieci do 3 lat wynosi 2,5 mg/dzień [11].

Se to niezbędny pierwiastek śladowy, który odgrywa istotną rolę w układzie odpornościowym. Ten mikroelement jest składnikiem enzymów oksydoredukcyjnych, w tym peroksydaz glutationowych, dejodynazy jodotyroninowej, reduktazy tioredoksyny i syntetazy selenofosforanowej 2 [17]. Ponadto, Se bierze udział w syntezie funkcjonalnie aktywnych selenoprotein, które uczestniczą w utrzymaniu homeostazy redoks i obronie antyoksydacyjnej komórek. Selenoproteina P jest białkiem istotnym w transporcie, magazynowaniu i dostarczaniu Se *in vivo*. To białko wiąże pierwiastki toksyczne, przyczyniając się do obrony organizmu przed stresem oksydacyjnym [17]. Podobnie jak w przypadku Cu, zarówno nadmiar, jak i niedobór Se, może być toksyczny. Niedobór Se przyczynia się do zaburzeń układu immunologicznego, rozwoju niedoczynności tarczycy oraz chorób serca, a u dzieci może być przyczyną kardiomiopatii. Objawy deficytu Se obserwuje się głównie w Chinach [16,18]. Z kolei selenoza (zatrucie Se) może manifestować się w postaci nudności, bólów brzucha, biegunki, zmęczenia, neuropatii obwodowej, a także osłabienia stanu włosów i paznokci [18,19]. Źródłem Se są orzechy (zwłaszcza brazylijskie), mięso, ryby i owoce morza, warzywa i zboża, natomiast rzeczywista zawartość tego pierwiastka jest zależna od poziomów Se w glebie [16]. Zalecane spożycie Se dla dzieci do 3 lat wynosi 17-20 µg/dzień [11].

Ważnym aspektem jest też problem zanieczyszczeń żywności, których nie można wyeliminować z pożywienia, natomiast istnieją regulacje prawne, które określają ich

maksymalne dopuszczalne spożycie [20-23], dzięki czemu żywność dla dzieci może być monitorowana.

Ekspozycja na zanieczyszczenia we wczesnych etapach życia dziecka może predysponować do wystąpienia chorób przewlekłych w wieku dorosłym, ze względu na zmiany genetyczne i epigenetyczne [24]. Wśród najmłodszej grupy wiekowej zmiany w budowie i funkcjonowaniu głównych narządów zachodzą bardzo szybko, dlatego też niemowlęta i małe dzieci są bardziej podatne na negatywne oddziaływanie pierwiastków toksycznych.

Dzieci w wieku 0,5-3 lat charakteryzują się wyższym metabolizmem spoczynkowym oraz większą ilością spożywanego pokarmu w przeliczeniu na kilogram masy ciała. Zmienny skład ciała niemowląt i małych dzieci wpływa na wchłanianie, metabolizm oraz magazynowanie pierwiastków toksycznych we wczesnych latach życia. Dojrzałość układu pokarmowego oraz hormonalnego osiągana jest w różnym tempie i na początkowym etapie życia część narządów nie jest całkowicie wykształcona. Wyraźne dysproporcje w rozwoju młodego organizmu wpływają na stopień narażenia i rozmieszczenia zanieczyszczeń, dlatego też skutki ekspozycji na pierwiastki toksyczne w tej populacji mogą być znacznie bardziej groźniejsze w niż u dorosłych [25]. Pierwiastki toksyczne mają zdolność kumulacji w organizmie, wpływając długoterminowo na zdrowie, tak więc skutki narażenia mogą ujawnić się nawet po wielu latach od ekspozycji. Wymagania unijne dotyczące dozwolonej zawartości pierwiastków toksycznych w żywności dla dzieci są znacznie bardziej restrykcyjne niż w żywności ogólnego spożycia. Najwyższe dopuszczalne stężenie kadmu (Cd) i ołowiu (Pb) w produktach dla dzieci jest odpowiednio 5 i 10 razy niższe w porównaniu do żywności konwencjonalnej [26]. Dodatkowo, dzieci są bardziej narażone na spożycie pierwiastków toksycznych [27].

Arsen (As) w postaci nieorganicznej został sklasyfikowany jako grupa 1 na liście rakotwórczych substancji według IARC (Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem) [28]. Ekspozycja na As wpływa toksycznie na funkcjonowanie układu nerwowego, oddechowego oraz skórę u dzieci. Głównym źródłem narażenia na As jest żywność i woda pitna, pierwiastek ten może także przedostać się do organizmu poprzez układ oddechowy i skórę [29]. Dzieci do 5 roku życia spożywają od 3 do 4 razy więcej pokarmu w przeliczeniu na kilogram masy ciała, stąd też szacuje się, że narażenie na As jest od 2 do 3 razy większe w porównaniu do osób dorosłych [30,31]. Zaobserwowano zależność, że wyższa ekspozycja na As u dzieci wiąże się z większymi dysfunkcjami intelektualnymi i zaburzeniami neuropsychicznymi [32,33]. Toksyczność As zależy od stopnia metylacji tego pierwiastka, która z kolei zależna jest od wielu czynników żywieniowych (m.in. zawartość kwasu foliowego, choliny, witaminy B12) [34]. Pierwiastek ten jest obecny w produktach na bazie ryżu, w nabiale i żywności dla niemowląt [35]. Zgodnie z Rozporządzeniem Komisji (UE) maksymalna dopuszczalna zawartość As w produktach dla dzieci na bazie ryżu wynosi 0,1 mg/kg, w napojach 0,02 mg/kg, a w pozostałej żywności dla dzieci 0,02 mg/kg [21]. W momencie publikacji wyników dotyczących zawartości As (**P.2**) obowiązywały normy prezentowane w Rozporządzeniu Komisji z 2006 roku, gdzie dopuszczalne stężenia As w produktach dla dzieci oraz produktach ryżowych różnią się od najnowszych rekomendacji [20].

Kolejnym pierwiastkiem toksycznym jest Cd, który został uznany przez IARC jako rakotwórczy dla ludzi i zaklasyfikowany do grupy 1 kancerogenów o udowodnionym

działaniu rakotwórczym [28]. Pierwiastek ten może wykazywać działanie neurotoksyczne u dzieci, nawet w dawkach niższych niż TWI (Tolerowane tygodniowe spożycie). Pierwiastek ten gromadzi się głównie w wątrobie i nerkach, a okres półtrwania wynosi około 10-30 lat. Przewlekłe narażenie na Cd zaburza metabolizm osteoblastów, upośledza produkcję kolagenu, a także nasila wydalanie wapnia (Ca) i fosforu (P) z moczem. U dzieci może upośledzać wzrost i zaburzać rozwój układu kostnego [36]. Zaobserwowano, że może dochodzić do zaburzeń neurobehawioralnych, nawet przy niskim poziomie narażenia [37-39]. Pierwiastek ten jest obecny głównie w zbożach, ryżu, warzywach oraz rybach i owocach morza [40]. Normy unijne dotyczące zawartości Cd zostały ustalone na poziomie 0,04 mg/kg dla produktów zbożowych i żywności dla dzieci oraz 0,02 mg/kg dla napojów dla dzieci [21].

Rtęć (Hg) została sklasyfikowana na liście IARC do grupy 3, tak więc nie jest bezpośrednio pierwiastkiem rakotwórczym. Wywołuje jednak niekorzystne działanie, przedostając się do organizmu za pośrednictwem żywności przez skażoną glebę i wodę. Toksyczność Hg zależy od czasu ekspozycji na pierwiastek, dawki oraz rodzaju związku. Metylortęć (MeHg) to forma organiczna Hg, która wpływa szczególnie neurotoksycznie na niemowlęta i małe dzieci [41]. Ekspozycja na ten pierwiastek może skutkować upośledzeniem w rozwoju poznawczym, zaburzeniami kognitywnymi, niepełnosprawnością neuromotoryczną oraz niższym poziomem inteligencji [42]. Czas połowicznego rozpadu Hg wynosi około 90 dni u dorosłych, natomiast u dzieci może wynosić jeszcze dłużej [43]. Ekspozycja matki na Hg stanowi zagrożenie także dla rozwijającego się płodu, ponieważ każda forma tego pierwiastka może przenikać przez łożysko [43]. Najwięcej tego pierwiastka występuje w rybach i owocach morza, szczególnie w gatunkach drapieżnych, dlatego też ten rodzaj ryb nie jest rekomendowany dla kobiet w ciąży, niemowląt i małych dzieci [41]. Najwyższe narażenie na Hg odnotowuje się w krajach, gdzie ryby stanowią podstawę diety. Zgodnie z przepisami Krajowego Standardu Bezpieczeństwa Żywności maksymalna dopuszczalna zawartość Hg w produktach dla dzieci wynosi 0,02 mg/kg [45].

Pierwiastkiem potencjalnie rakotwórczym jest Pb, który został sklasyfikowany do grupy 2B na liście IARC [28]. W przypadku Pb nie ma bezpiecznego poziomu narażenia – nawet najmniejsze dawki mogą wykazywać działanie neurotoksyczne [46]. Ekspozycja na ten pierwiastek upośledza rozwój małych dzieci poprzez uszkodzenie układu nerwowego, co skutkuje zaburzeniami koncentracji i uwagi oraz niższym poziomem IQ [47]. Narażenie tej grupy wiekowej na Pb wpływa także na funkcjonowanie układu krwiotwórczego oraz immunologicznego. Pierwiastek ten zaburza biosyntezę hemoglobiny, co prowadzi do niedokrwistości, a także wywołuje immunosupresję i deregulację układu odpornościowego. Ponadto, dzieci z niedożywieniem są bardziej podatne na wystąpienie niekorzystnych skutków zdrowotnych spowodowanych narażeniem na Pb [48]. U dzieci absorpcja Pb jest prawie 2 razy większa niż u osób dorosłych [27]. Pierwiastek ten może znajdować się w produktach zbożowych, mięsie, rybach, owocach morza, nabiale, a także w owocach i warzywach [49]. Zgodnie z przepisami unijnymi maksymalna dopuszczalna zawartość Pb w żywności dla dzieci wynosi 0,02 mg/kg [21].

Niemowlęta i małe dzieci mogą być narażone także na inne zanieczyszczenia w żywności, które dzieli się ze względu na czynnik, który je wywołuje: zanieczyszczenia biologiczne (np. mikotoksyny) oraz chemiczne (np. pozostałości pestycydów, azotany, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), diosksyny). Żywność może być zanieczyszczona także

wskutek termicznego jej przetwarzania oraz migracji z opakowań m.in. akryloamidem, furanem, 3-monochloropropano-1,2-diolem (3-MCPD) czy estrami glicydylowymi [27]. Biorąc pod uwagę ryzyko narażenia na zanieczyszczenia najmłodszej grupy wiekowej, poza pierwiastkami toksycznymi, potencjalnie najbardziej niebezpieczne są: akryloamid, bisfenol A oraz pozostałości pestycydów (**P.1**).

Akryloamid został sklasyfikowany przez IARC jako prawdopodobnie rakotwórczy. Związek ten ma działanie neurotoksyczne i genotoksyczne, a także wpływa na metabolizm enzymów i hormonów. Dzieci są narażone na akryloamid pochodzący głównie z ziemniaków i zbóż poddanych obróbce termicznej [50]. Kolejnym związkiem, który może stanowić zagrożenie zdrowotne u dzieci, jest bisfenol. To substancja, która przy długotrwałej ekspozycji upośledza metabolizm hormonów. Dzieci są szczególnie wrażliwe na narażenie na bisfenol, gdyż dawki mniejsze niż tolerowane dzienne pobranie (TDI) zaburzają funkcjonowanie układu endokrynologicznego. Związek ten przedostaje się do pożywienia w wyniku migracji z metalowych i plastikowych opakowań służących do przechowywania żywności [51]. Pestycydy to związki bardzo toksyczne dla dzieci, z uwagi na długi okres półtrwania i dużą zdolność do kumulacji w organizmie [52]. Pozostałości pestycydów mogą być obecne w mięsie, rybach, produktach mlecznych i wodzie pitnej [53]. Żywność dla dzieci może także być zanieczyszczona węglowodorami olejów mineralnych (MOH), które powstają na wskutek przemian ropy naftowej, dostając się do żywności poprzez procesy produkcyjne, zanieczyszczenia środowiska oraz migrację z opakowań. Najwyższe stężenia MOH występują w olejach roślinnych. Ekspozycja na MOH może skutkować efektami genotoksycznymi, hepatotoksycznymi oraz uszkadzać układ limfatyczny. Najwyższe narażenie na MOH odnotowano wśród niemowląt i małych dzieci karmionych preparatami do żywienia początkowego [54].

Żywność powinna umożliwiać zaspokojenie potrzeb żywieniowych dzieci i jednocześnie nie może stanowić zagrożenia zdrowotnego, dlatego też potencjalne zanieczyszczenia powinny być monitorowane aby nie przekraczać ściśle określonych norm.

### 3. Cel pracy z uzasadnieniem podjętej tematyki badawczej

Ze względu na intensywny wzrost i rozwój niemowląt i małych dzieci oraz jednocześnie dużą wrażliwość na zanieczyszczenia, produkty dedykowane dla tej grupy wiekowej powinny charakteryzować się dużą aktywnością antyoksydacyjną oraz jak najmniejszą obecnością pierwiastków toksycznych.

W Unii Europejskiej żywność gotowa do spożycia przez dzieci, w odróżnieniu od przetworzonej żywności konwencjonalnej, podlega szczegółowym wymaganiom dotyczącym składu i bezpieczeństwa zdrowotnego, określonym w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady UE NR 609/2013 z dnia 12 czerwca 2013 r., które odnosi się do gotowej żywności dla dzieci na bazie zbóż oraz żywności przeznaczonej dla niemowląt i małych dzieci [55]. Zgodnie z powyższym Rozporządzeniem producent żywności ma obowiązek oceny zawartości substancji toksycznych w produktach dedykowanych dla tej grupy wiekowej. Dopuszczalne stężenia pierwiastków toksycznych w żywności dla dzieci są bardziej restrykcyjne w porównaniu do żywności tradycyjnej [23].

Z badania DONALD wynika, że 20% niemowląt i małych dzieci żywi się posiłkami przygotowywanymi w domu, 60% dzieci spożywa produkty gotowe do konsumpcji, a 20% korzysta z obu możliwości jednocześnie [56]. W związku z powyższym, kluczowa wydaje się analiza żywności dla tej grupy wiekowej pod kątem właściwości zdrowotnej. W badaniu CHOP zaobserwowano, że ponad 95% dzieci w wieku 9-12 miesięcy przynajmniej raz korzystało z produktów gotowych do konsumpcji [57]. Aktualne trendy wskazują na dużą powszechność spożywania przetworzonych produktów dla dzieci, dlatego ważne jest, aby żywność ta charakteryzowała się wysoką jakością oraz odpowiednim składem.

Należy podkreślić, że dużą popularnością cieszą się produkty ekologiczne i w powszechnej opinii postrzegane są jako zdrowsze. Żywność dla dzieci z oznaczeniem ekologicznym to jeden z najczęściej kupowanych ekologicznych produktów, a zgodnie z wynikami badania ESKiMo II aż 63% dzieci spożywa tego typu żywność [58]. Nie ma jednak jednoznacznych dowodów, że produkty organiczne wyróżniają się wyższą wartością zdrowotną niż żywność konwencjonalna [59].

Aktualne dostępne doniesienia naukowe skupiają się na właściwościach przeciwutleniających oraz obecności pierwiastków toksycznych w żywności konwencjonalnej oraz żywieniu początkowym, brakuje natomiast raportów naukowych odnoszących się do gotowych produktów przeznaczonych dla niemowląt i małych dzieci. Na podstawie przeglądu badań innych autorów opublikowanych w **publikacji 1** stwierdzono, że żywność dla dzieci jest w największym stopniu zanieczyszczona nie tylko akryloamidem, bisfenolem A, pozostałościami pestycydów i MOH, ale również pierwiastkami toksycznymi.

Wobec powyższego, celem podjętych badań była ocena bezpieczeństwa pod względem zawartości pierwiastków toksycznych oraz właściwości antyoksydacyjnych produktów spożywczych spożywanych przez dzieci poprzez realizację niżej wymienionych celów szczegółowych:

- analiza zawartości pierwiastków antyoksydacyjnych, takich jak: Cu Zn, Se w produktach dla dzieci,



- ocena całkowitej zawartości związków polifenolowych w produktach dla dzieci na bazie warzyw, owoców i zbóż,
- ocena całkowitego potencjału antyoksydacyjnego w produktach dla dzieci na bazie warzyw, owoców i zbóż,
- oszacowanie w jakim stopniu spożycie gotowych produktów dla dzieci pokrywa średnie zapotrzebowanie na pierwiastki antyoksydacyjne,
- porównanie zawartości pierwiastków antyoksydacyjnych z uwzględnieniem typu produktów dla dzieci,
- porównanie zawartości pierwiastków antyoksydacyjnych uwzględniając podział na grupy wiekowe
- porównanie zawartości pierwiastków antyoksydacyjnych odnosząc się do pochodzenia surowców,
- analiza zawartości pierwiastków toksycznych, takich jak As, Cd, Hg, Pb w produktach dla dzieci,
- określenie bezpieczeństwa zdrowotnego badanych produktów z wykorzystaniem powszechnie stosowanych wskaźników toksykologicznych, uwzględniając krótko- i długoterminowe ryzyko wystąpienia niekorzystnych skutków zdrowotnych w wyniku narażenia na pierwiastki toksyczne,
- porównanie zawartości pierwiastków toksycznych z uwzględnieniem typu produktów dla dzieci oraz przeznaczenia produktów dla różnych grup wiekowych.

Sformułowano następujące hipotezy badawcze:

1. Produkty dla dzieci podlegają rygorystycznej kontroli odnośnie dopuszczalnej zawartości pierwiastków toksycznych, dlatego też powinny być bezpieczne dla dzieci.
2. Żywność ekologiczna dla dzieci powinna charakteryzować się niższą zawartością pierwiastków toksycznych i wyższymi właściwościami antyoksydacyjnymi w porównaniu do żywności tradycyjnej.

Nowatorstwo tego badania polegało na przebadaniu po raz pierwszy tak dużej liczby prób oraz tak różnorodnego asortymentu gotowych produktów dla dzieci, uwzględniając zarówno aspekt zdrowotny, jak i toksykologiczny. Żywność była analizowana pod kątem składu, przeznaczenia produktów dla różnych grup wiekowych oraz pochodzenia surowców, co pozwala na wnikliwą analizę asortymentu produktów spożywczych dla dzieci. Ocena całkowitego potencjału antyoksydacyjnego w produktach dla najmłodszej grupy wiekowej nie była nigdy wcześniej analizowana w literaturze naukowej, co stanowi innowacyjność niniejszych badań.

#### **4. Realizacja celów naukowych, materiały i metody badawcze, wyniki badań**

Badania zostały przeprowadzone w Zakładzie Bromatologii Wydziału Farmaceutycznego z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku. Pozyskano finansowanie z projektów statutowych Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku: SUB/2/DN/21/002/2216 oraz B.SUB.23.123. Przeprowadzone badania nie wymagały zgody Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku.

##### **4.1 Przegląd piśmiennictwa związanego z tematyką pracy doktorskiej**

Przed przygotowaniem pracy pogładowej **P.1** oraz prac badawczych **P.2-P.3** dokonano przeglądu literatury fachowej odpowiadającej podejmowanej tematyce prac, wykorzystując dostępne wyszukiwarki: Pubmed i Google Scholar.

##### **4.2 Analiza rynku, wytypowanie i pozyskanie asortymentu do badań**

Materiał do badań stanowiły produkty gotowe do spożycia dla dzieci w wieku 0,5-3 lat. Dobór prób do badań odzwierciedla asortyment produktów dla dzieci dostępnych na polskim rynku. Badany asortyment zakupiono w sklepach stacjonarnych na terenie północno-wschodniej Polski, a także w polskich sklepach internetowych w okresie od grudnia 2020 r. do września 2021 r. Produkty pochodziły od wiodących producentów żywności dla dzieci, takich jak m.in. Helpa, Hipp, Humana, Holle, Nestle i Nutricia.

Finalnie zebrano 398 prób, w tym:

- A. dania obiadowe dla dzieci (n = 103), obejmujące: obiady drobiowe (n = 24), obiady z wołowiną (n = 16), obiady z wieprzowiną (n = 13), obiady rybne (n = 18), obiady z królikiem (n = 11), obiady wegetariańskie (n = 20);
- B. kaszki (n = 50), obejmujące: kaszki mleczne (n = 8), kaszki mleczno-owocowe (n = 15), kaszki glutenowe (n = 12), kaszki bezglutenowe (n = 15);
- C. owoce i warzywa w postaci musów (n = 58), obejmujące: musy owocowo-warzywne (n = 9), musy owocowe (n = 33), musy owocowo-zbożowe (n = 6), musy owocowo-mleczne (n = 6), musy warzywne (n = 4);
- D. napoje dla dzieci (n = 64), obejmujące: wodę i napoje owocowe (n = 22), soki owocowe (n = 42);
- E. przekąski "do rączki" (n = 63), obejmujące: wafle/chrupki (n = 30), ciasteczka (n = 17), batoniki owocowe (n = 15)
- F. nabiał (n = 60), obejmujący: sery żółte (n = 28), jogurty (n = 32).

Asortyment analizowano także uwzględniając przeznaczenie produktów dla poszczególnych grup wiekowych, wyodrębniając następujące kategorie: produkty dla niemowląt w wieku 0,5-1 lat, produkty dla małych dzieci w wieku 1-3 lat oraz produkty bez deklaracji wieku. Produkty z deklaracją wieku to: obiady, kaszki oraz przetwory warzywno-owocowe. Pozostałe grupy (produkty mleczne, przekąski i napoje) skategoryzowano bez precyzowanego przeznaczenia wiekowego.

Wyróżniono także grupy produktów dla dzieci pod kątem pochodzenia surowców. W analizie wyodrębniono grupę żywności ekologicznej, składającą się ze 168 prób (w tym 50 obiadów, 17 kaszek, 23 musów owocowo-warzywnych, 28 napojów i 50 przekąsek) oraz grupę żywności konwencjonalnej, składającą się z 230 prób (w tym 53 obiady, 33 kaszki, 35 musów owocowo-warzywnych, 36 napojów, 13 przekąsek i 60 produktów mlecznych).

Przeprowadzono anonimową ankietę, której celem była analiza preferowanego asortymentu gotowych produktów dla dzieci. Pytania skupiały się na określeniu które produkty są najczęściej spożywane przez dzieci, w jakich porcjach oraz z jaką częstotliwością. Ankieta składała się z 48 pytań i została udostępniona na forach rodzicielskich. Ze względu na małą liczbę odpowiedzi zwrotnych (otrzymano 27 poprawnie uzupełnionych ankiet) do oszacowania spożywanych porcji przez dzieci w wieku 0,5-3 lat opierano się na danych literaturowych [60].

### **4.3 Przygotowanie prób i ocena zawartości pierwiastków antyoksydacyjnych, aktywności przeciwutleniającej i zawartości pierwiastków toksycznych**

Proces przygotowania prób polegał na homogenizacji ich w mrożdzierzu porcelanowym lub homogenizatorze (IKA, Staufen, Niemcy). Próby po homogenizacji zmineralizowano w mineralizatorze w mikrofalowym systemie zamkniętym (Berghof, Speedwave, Eningen, Niemcy) w stężonym kwasie azotowym. Przygotowane próby wykorzystano do analizy zawartości składników mineralnych i pierwiastków toksycznych (z wyjątkiem Hg).

Zawartość składników mineralnych oznaczano przy użyciu różnych technik analitycznych. Stężenie Cu i Zn oznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej z korekcją tła Zeemana (AAS, Z-2000, Hitachi, Tokio, Japonia). Do analizy zawartości Zn użyto technikę płomieniową z atomizacją w płomieniu acetylen-powietrze. Technikę bezpłomieniową z elektrotermiczną atomizacją w kuwecie grafitowej wykorzystano do oznaczeń zawartości Cu. Analizę Se przeprowadzono przy użyciu metody spektrometrii mas z plazmą indukcyjnie sprzężoną (ICP-MS, NexION 300D, PerkinElmer, Waltham, Stany Zjednoczone) z komorą dyskryminacji energii kinetycznej (KED). Stężenia składników mineralnych wyrażono na 100 g produktu, a następnie określono % pokrycia szacowanego średniego zapotrzebowania grupy. Do obliczeń wykorzystano standardowe porcje spożywane przez polskie dzieci [60]. Dla wszystkich próbek obliczono stosunek molowy Cu:Zn przy użyciu programu Microsoft Excel.

Do analizy zawartości As wykorzystano spektrometrię mas z plazmą indukcyjnie sprzężoną z komorą dyskryminacji kinetycznej, natomiast oznaczenie zawartości Cd i Pb przeprowadzono w trybie standardowym metodą ICP-MS. Zawartość Hg oznaczono bezpośrednio, bez wstępnej mineralizacji, przy pomocy spektrometru absorpcji atomowej wykorzystującego technikę amalgamacji (AMA-254, Leco Corp., Altrec Ltd., Praga, Czechy).

W celu oceny właściwości przeciwutleniających próby homogenizowano i odpowiednio rozcieńczono (IKA, Staufen, Niemcy). Do analizy całkowitej zawartości polifenoli (TPC) zastosowano metodę Folina-Ciocalteu oraz test zmiatania rodników 2,2-difenylo-1-pikrylohydrazyl (DPPH) w celu określenia aktywności przeciwutleniającej.

W celu oceny bezpieczeństwa spożycia gotowych produktów dla dzieci poprzez narażenie na pierwiastki toksyczne obliczono wartości wskaźników toksykologicznych uwzględniających krótko- i długoterminowe ryzyko wystąpienia działań niepożądanych. Były one następujące: EDI - szacowane dzienne pobranie (Estimated Daily Intake), EWI - szacowane tygodniowe pobranie (Estimated Weekly Intake), PTWI - tymczasowe tolerowane tygodniowe pobranie (Provisional Tolerable Weekly Intake), PTMI - tymczasowe tolerowane miesięczne pobranie (Provisional Tolerable Monthly Intake), BMDL - dolna granica

najniższej dawki wyznaczającej (Benchmark Dose Lower Confidence Limits), THQ - docelowy iloraz ryzyka (Target Hazard Quotient), HI - wskaźnik ryzyka (Hazard index), CR - ryzyko zachorowania na raka (Cancer Risk).

Całościowy przebieg wyżej wymienionych procedur i technik analitycznych został szczegółowo opisany w pracach **P.2** oraz **P.3**.

#### 4.4 Analiza statystyczna

Uzyskane wyniki zostały opracowane przy użyciu programu Statistica (TIBCO Software Inc., Palo Alto, Stany Zjednoczone). Przeprowadzono test Shapiro-Wilka na podstawie którego stwierdzono brak normalności rozkładu danych. Do porównania zawartości pierwiastków w różnych grupach produktów wykorzystano nieparametryczne testy U Manna-Whitneya oraz test ANOVA Kruskala-Wallisa. Celem sprawdzenia zależności między grupami wykorzystano metodę korelacji rang Spearmana. Wyniki zaprezentowano w postaci mediany i kwartyli, jednakże w celu porównania wyników badań własnych z wynikami innych autorów zaprezentowano także średnie wraz z odchyleniami standardowymi oraz wartości maksymalne i minimalne. Przyjęto wartości istotnych różnic przy  $p < 0,05$ .

#### 4.5 Wyniki badań

Przeprowadzone badania wykazały, że mediana TPC w produktach dla dzieci wynosiła 37,8 mg GAE/100 g (Q1-Q3: 12,4–82), przy czym najwyższe wartości odnotowano w grupie musów: 111,8 mg GAE/100 g (55,9–162,4), a spośród podgrup musy owocowo-warzywne charakteryzowały się najwyższą wartością TPC: 114,2 mg GAE/100 g (65,8–167,4). W obiadkach dla dzieci stwierdzono najniższą medianę TPC: 25,8 mg GAE/100 g (14,2–37,0), przy czym w daniach obiadowych na bazie ryb odnotowano najniższą wartość biorąc pod uwagę podgrupy: 17,3 mg GAE/100g (7,6–33,3). Uwzględniając wszystkie produkty najwyższą medianę TPC stwierdzono w mieszance liofilizowanych owoców na bazie czarnej porzeczki, ananasa, wiśni i truskawek (525,4 mg GAE/100 g), mieszance owoców liofilizowanych na bazie truskawek, malin, jagód i jabłka (507,2 mg GAE/100 g) oraz w chipsach jabłkowych (312,0 mg GAE/100 g). Dostrzeżono istotne statystycznie różnice w wartości TPC między obiadkami a musami i napojami ( $p < 0,001$ ) a także między musami a kaszkami i przekąskami dla dzieci ( $p < 0,001$ ). W grupie produktów dla dzieci bez deklaracji wiekowej oraz w grupie produktów dla dzieci w wieku 0,5-1 lat wykazano najwyższą medianę TPC (odpowiednio 50,8 mg GAE/100 g i 42,6 mg GAE/100 g). Produkty dla dzieci w wieku 1-3 lat charakteryzowały się istotnie niższą medianą TPC (24,0 mg GAE/100 g). Biorąc pod uwagę kryterium pochodzenia surowca (produkty z certyfikatem ekologicznym i konwencjonalne), wyższą medianę TPC stwierdzono w produktach konwencjonalnych (44,6 mg GAE/100 g vs 34,3 mg GAE/100 g) (**P.3**).

Produkty gotowe do spożycia dla dzieci wykazywały zdolność wychwytywania wolnych rodników na poziomie 71,4%. Najwyższą medianę uzyskaną w teście DPPH odnotowano w grupie musów owocowo-warzywnych (95,3%). Wśród podgrup musy owocowe wykazywały najwyższą zdolność wychwytywania wolnych rodników (95,9%). Najniższy odsetek zmiatania wolnych rodników w niniejszym teście stwierdzono w grupie napojów dla dzieci (34,8%), a biorąc pod uwagę podgrupy najniższą wartość odnotowano w sokach owocowych (33,7%). Spośród wszystkich produktów najwyższą zdolność

wychwytywania wolnych rodników wykazywała letnia sałatka owocowa na bazie gruszki, jabłka, moreli i mirabelek (99,6%), mus jabłkowy (99,5%) oraz musy zawierający banana, mango i mleko kokosowe (89,6%). Zaobserwowano istotne statystycznie różnice w zdolności wychwytywania wolnych rodników w teście DPPH pomiędzy obiadekami a musami i napojami dla dzieci ( $p < 0,001$ ), a także między kaszkami a musami i napojami ( $p < 0,001$ ). Odsetek zmiatania wolnych rodników różnił się istotnie w przypadku kaszek oraz musów i napojów ( $p < 0,001$ ), pomiędzy musami a napojami i przekąskami ( $p < 0,001$ ), a także między napojami i przekąskami ( $p < 0,001$ ). Biorąc pod uwagę % zmiatania wolnych rodników w teście DPPH najwyższą medianę wykazano w produktach dla dzieci w wieku 0,5-1 lat (79,9%) oraz produktach dla dzieci w wieku 1-3 lat (77,8%) w porównaniu do żywności bez deklaracji wiekowej (53,4%). Ekologiczna żywność dla dzieci wykazywała wyższą zdolność do wychwytywania wolnych rodników w teście DPPH (72,7%) w porównaniu do tradycyjnej żywności dla dzieci (69,5%), natomiast nie odnotowano istotności statystycznej (**P.3**).

W badanej grupie wykazano, iż mediana stężenia Cu w produktach dla dzieci wynosiła 7,8 mg/kg (4,4–12,1). Spośród wszystkich grup produkty mleczne charakteryzowały się najwyższą medianą Cu, która wynosiła 18,2 mg/kg (14,0–22,9). Biorąc pod uwagę wszystkie podgrupy żywności jogurty wykazały najwyższą medianę: 22,1 mg/kg, (20,4–26,6). Najniższą zawartość Cu stwierdzono w napojach dla dzieci, która wynosiła 2,1 mg/kg (1,8–4,6), a soki owocowe charakteryzowały się najniższą medianą wśród wszystkich podgrup żywności dla dzieci: 1,9 mg/kg (1,7–4,0). Produkty dla dzieci o najwyższej zawartości Cu to: bio batoniki zbożowo-owocowe na bazie płatków owsianych, bananów i jabłek (90,7 mg/kg); bio batoniki owocowe i zbożowe na bazie płatków owsianych, bananów, jabłek i winogron (90,3 mg/kg); jogurt z kawałkami czekolady (51,7 mg/kg). Zaobserwowano istotne różnice w zawartości Cu między obiadekami a kaszkami, napojami, przekąskami oraz nabiałem dla dzieci ( $p < 0,001$ ). Mediana zawartości Cu w kaszkach dla dzieci różniła się znacząco od musów, przekąsek, nabiału dla dzieci ( $p < 0,001$ ). Dostreżono także różnice w medianie zawartości Cu pomiędzy musami owocowo-warzywnymi a nabiałem ( $p < 0,05$ ), kaszkami ( $p < 0,001$ ), napojami ( $p < 0,001$ ), a także między nabiałem dla dzieci i napojami ( $p < 0,01$ ). Produkty bez deklaracji wieku charakteryzowały się najwyższą medianą zawartości Cu (10,7 mg/kg) w porównaniu do produktów dla dzieci w wieku 0,5-1 lat (6,9 mg/kg) oraz 1-3 lat (6,9 mg/kg). Ekologiczna żywność dla dzieci charakteryzowała się niższą medianą Cu w porównaniu do produktów tradycyjnych (7,2 mg/kg vs. 9,7 mg/kg), ale wyniki nie były istotne statystycznie (**P.3**).

W przypadku Se mediana stężenia w gotowych produktach dla dzieci wynosiła 65,0  $\mu\text{g/kg}$  (30,1–100,2). Produkty mleczne charakteryzowały się najwyższą medianą zawartości Se w obrębie wszystkich grup produktów: 134,9  $\mu\text{g/kg}$  (113,9–195,5). W poszczególnych podgrupach sery żółte wykazywały najwyższą medianę: 164,2  $\mu\text{g/kg}$  (120,2–214,5). Z kolei najniższą medianę odnotowano w obiadekach dla dzieci, wynosiła ona 24,5  $\mu\text{g/kg}$  (16,4–32,2), przy czym obiadeki dla dzieci na bazie drobiu wykazywały najniższą wartość w obrębie podgrup: 16,6  $\mu\text{g/kg}$  (13,2–25,5). Biorąc pod uwagę cały asortyment gotowych produktów dla dzieci najwyższą medianą charakteryzowały się bio płatki owsiane (686,6  $\mu\text{g/kg}$ ), herbata na bazie melisy, lipy i majeranku (567,2  $\mu\text{g/kg}$ ), a także lemoniada na bazie jabłek, truskawek, owoców dzikiej róży i mięty (485,2  $\mu\text{g/kg}$ ). Mediany zawartości Se dla obiadeków dla dzieci różniły się istotnie od musów, napojów, przekąsek, nabiału dla dzieci ( $p < 0,001$ ). Z kolei w przypadku kaszek dla dzieci zauważono istotne statystycznie różnice w medianie zawartości Se w odniesieniu do musów, nabiału dla dzieci, przekąsek i napojów ( $p < 0,001$ ). Produkty bez deklaracji wiekowej charakteryzowały się najwyższą medianą Se (93,0  $\mu\text{g/kg}$ ). Mediana zawartości Se w grupie żywności przeznaczonej dla dzieci w wieku 0,5-1 lat i 1-3 lat wynosiła odpowiednio 39,8  $\mu\text{g/kg}$  i 26,1  $\mu\text{g/kg}$ . Grupa żywności ekologicznej, w odróżnieniu

od tradycyjnej, charakteryzowała się również wyższą medianą stężeń Se (65,5 µg/kg vs 64,4 µg/kg), natomiast wyniki te nie były istotne statystycznie **(P.3)**.

Mediana zawartości Zn w całej grupie produktów dla dzieci wynosiła 7,8 mg/kg (4,4–12,1), przy czym najwyższą zawartość odnotowano w grupie kaszek dla dzieci: 27,4 mg/kg (18,8–37,1). W poszczególnych podgrupach najwyższe stężenie wykazywały kaszki mleczne: 34,4 mg/kg (18,5–44,0). Z kolei najniższą medianę zawartości Zn odnotowano w napojach dla dzieci: 1,3 mg/kg (0,7–2,6). Biorąc pod uwagę podgrupy, najniższą medianę stwierdzono w sokach owocowych: 1,0 mg/kg (0,7–1,9). Zawartość Zn w obiadkach różniła się istotnie od kaszek, musów owocowo-warzywnych, napojów i przekąsek ( $p < 0,001$ ). Zaobserwowano także istotne różnice pomiędzy kaszkami dla dzieci a musami i napojami ( $p < 0,001$ ), między musami a przekąskami i nabiałem dla dzieci ( $p < 0,001$ ), a także w przypadku napojów i przekąsek ( $p < 0,001$ ). Biorąc pod uwagę kategorię produktów z przeznaczeniem dla grup wiekowych najwyższą medianę odnotowano w asortymencie dla dzieci 1-3 lat (5,8 mg/kg) oraz w żywności bez deklaracji wiekowej (5,5 mg/kg). W grupie produktów dla dzieci w wieku 0,5-1 lat wykazano zawartość Zn na poziomie 3,7 mg/kg Zn, ale wyniki te nie były istotne statystycznie. Produkty z oznaczeniem ekologicznym charakteryzowały się wyższą medianą stężeń Zn (6,8 mg/kg vs 4,3 mg/kg) w porównaniu do żywności tradycyjnej **(P.3)**.

Średni stosunek molowy Cu:Zn w produktach dla dzieci wynosił 1,7 (0,6–3,3), przy czym najwyższy stosunek molowy Cu:Zn stwierdzono w musach owocowo-warzywnych: 4,8 (3,1–7,8) oraz nabiale: 3,4 (0,6–5,2). Z kolei najniższy stosunek molowy Cu:Zn wykazano w kaszkach: 0,1 (0,0–0,2), a także przekąskach “do rączki”: 0,8 (0,5–1,3) **(P.3)**.

Przeprowadzone analizy wykazały, że średnia porcja produktów dla dzieci pokrywała 232,0% wartości EAR dla Cu, 19,2% dla Zn oraz 24,3% w przypadku Se. Biorąc pod uwagę wszystkie grupy produktów najwyższy udział EAR dla Cu i Se stwierdzono w musach owocowo-warzywnych (492,9% EAR dla Cu, 52,8% EAR dla Se), w przypadku Zn były to przekąski “do rączki” (54,5% EAR) **(P.3)**.

Mediana zawartości As w produktach dla dzieci wynosiła 0,23 µg/kg (0,15-0,77). Spośród wszystkich kategorii najwyższą medianę odnotowano w kaszkach: 1,11 µg/kg (0,62-3,6), szczególnie bezglutenowych: 4,47 µg/kg (1,55-7,4). Biorąc pod uwagę podkategorie najwyższe stężenie As odnotowano w wafelkach/chipsach 0,78 µg/kg (0,38-3,26). Najniższe stężenie As wykazano w nabiale 0,1 µg/kg (LOD (poniżej granicy wykrywalności))-0,8), a w 69 produktach nie stwierdzono obecności As ( $< LOD$ ). Najwyższą zawartość As odnotowano w batonie owocowym na bazie ryżu As (84,71 µg/kg). Porównując rezultaty do norm z zarządzenia Komisji Europejskiej [26], **(P.2)**, maksymalne dopuszczalne stężenie As w żywności nie zostało przekroczone. W przypadku napojów zauważono istotne statystycznie różnice w zawartości As, w odniesieniu do obiadków ( $p < 0,01$ ), kaszek ( $p < 0,01$ ), musów ( $p < 0,01$ ), przekąsek “do rączki” ( $p < 0,01$ ) oraz nabiału ( $p < 0,01$ ). Z kolei zawartość As w obiadkach na bazie ryb różniła się istotnie od zawartości w obiadkach drobiowych ( $p < 0,001$ ), na bazie wołowiny ( $p < 0,001$ ), na bazie wieprzowiny ( $p < 0,001$ ), na bazie królika ( $p < 0,001$ ) oraz wegetariańskich ( $p < 0,001$ ). Zaobserwowano także istotną różnicę w zawartości As pomiędzy kaszkami mlecznymi a kaszkami bezglutenowymi ( $p < 0,001$ ) **(P.2)**.

W badanym asortymencie średnia mediana zawartości Cd wynosiła 1,12 µg/kg (0,49-2,08). Najwyższą medianę odnotowano w grupie przekąsek: 2,29 µg/kg (1,43-3,44), przy czym w obrębie podgrupy najwyższą medianę stwierdzono w wafelkach/chipsach: 2,62 µg/kg (1,31-3,8). Napoje charakteryzowały się najniższą medianą zawartości Cd, która wynosiła 0,48 µg/kg (0,29-1,14). Spośród wszystkich produktów obiadek dla dzieci po 6 miesiącu życia na bazie warzyw i łososia zawierał najwyższe stężenie Cd (20,2 µg/kg). W 47 produktach stwierdzono zawartość Cd poniżej granicy wykrywalności. Zgodnie z przepisami unijnymi w zakresie najwyższych dopuszczalnych poziomów Cd maksymalne dopuszczalne

stężenie wynosi 0,02 do 0,04 mg/kg [21] **(P.2)**, tak więc badane produkty nie przekroczyły dopuszczalnego limitu Cd.

Mediana zawartości Hg w gotowych produktach dla dzieci wynosiła 2,11 µg/kg (1,21-4,36). W przypadku Hg najwyższą medianę odnotowano w kaszkach 4,2 µg/kg (1,41-6,04). W poszczególnych podgrupach najwyższą medianę zawartości Hg stwierdzono w obiadkach rybnych: 10,52 µg/kg (3,6-13,04) i bezglutenowych kaszkach 6,0 µg/kg (1,52-6,33). Najniższa mediana zawartości Hg występowała w grupie przekąsek: 1,97 µg/kg (1,05-3,25) oraz w podgrupie napojów owocowych i wodzie: 1,01 µg/kg (1,87-3,73). Biorąc pod uwagę wszystkie badane produkty najwyższe zawartości Hg znajdowały się w obiadku dla dzieci na bazie warzyw, ryżu i morschuczka (37,3 µg/kg). Normy zostały ustalone na poziomie 10-20 µg/kg [45]. Dopuszczalną zawartość Hg przekroczone w 6 produktach, co stanowi 1,5% wszystkich badanych prób. W przypadku musów zaobserwowano istotne statystycznie różnice w zawartości Hg w odniesieniu do kaszek mlecznych ( $p < 0,05$ ). Zawartość Hg w obiadkach na bazie wieprzowiny różniła się istotnie od zawartości tego pierwiastka w obiadkach wegetariańskich ( $p < 0,05$ ) **(P.2)**.

W przypadku Pb średnia mediana wynosiła 7,64 µg/kg (5,46-10,31), a najwyższe zawartości odnotowano w przekąskach „do rączki”: 10,68 µg/kg (8,85-14,30). Z kolei najniższą medianę stwierdzono w musach 4,95 µg/kg (4,41-6,61). Produktem o najwyższej zawartości Pb był mus na bazie jabłek, winogron, aronii i malin (139,1 µg/kg). Odnotowano 18 przekroczeń dopuszczalnej zawartości Pb, co stanowi 4,5% wszystkich prób. W przypadku Pb najwięcej przekroczeń stwierdzono w napojach dla dzieci (7 prób) oraz przekąskach „do rączki” (6 prób). W grupie napojów owocowych i wody zaobserwowano istotne różnice w zawartości Pb w odniesieniu do soków owocowych ( $p < 0,01$ ) **(P.2)**.

Analizie poddano także zawartość pierwiastków toksycznych w produktach dla dzieci z uwzględnieniem pochodzenia surowców: próby podzielono na żywność ekologiczną oraz tradycyjną. Produkty ekologiczne były istotnie mniej zanieczyszczone Hg ( $2,5 \pm 2,0$  µg/kg) w porównaniu do produktów tradycyjnych ( $3,2 \pm 2,4$  µg/kg). Żywność ekologiczna charakteryzowała się istotnie wyższą zawartością Cd, Pb i As w odniesieniu do żywności konwencjonalnej. Uwzględniając różne grupy produktów, w większości przypadków nie wykazano istotnych różnic w zawartości pierwiastków toksycznych między produktami ekologicznymi a pochodzącymi z uprawy konwencjonalnej. Niniejsze wyniki zostały zaprezentowane w formie plakatu na XXIX Ogólnopolskim Sympozjum Bromatologicznym pt: „Żywność i Żywnienie a Zdrowie Człowieka – Aspekty Epidemiologiczne i Kliniczne” w Poznaniu 2023 r. **(Załącznik 1)**.

Stwierdzono najwyższe wartości wskaźników EDI i EWI dla As i Cd uwzględniając spożycie obiadków. Z kolei odnotowano najniższe wartości EDI dla As i Cd uwzględniając spożycie nabiału. Obiadki charakteryzowały się najwyższą wartością wskaźników EDI w przypadku Hg i Pb oraz EWI w odniesieniu do Hg. Oznaczono najniższe wartości EDI dla Hg i Pb uwzględniając spożycie kaszek. Nie odnotowano przekroczeń wskaźników PTWI oraz BMDL. Wartości PTWI dla wszystkich produktów dla dzieci stanowiły 2,25% dla Cd, 13,9% dla Hg. Wskaźnik BMDL wynosił 0,54% dla As i 20,2% dla Pb. Oceniając bezpieczeństwo spożycia badanych produktów, najwyższe wartości wskaźników THQ odnotowano dla Pb, w przypadku wskaźnika CR najwyższe wartości stwierdzono dla Cd. W badanym asortymencie nie zostały przekroczone normy wartości THQ oraz CR, co wskazuje, że obecność pierwiastków toksycznych w produktach dla dzieci nie powinna stanowić zagrożenia zdrowotnego **(P.2)**.

## 5. Podsumowanie wyników i dyskusja

Przeprowadzone analizy wykazały, że produkty dla dzieci, a szczególnie na bazie owoców i warzyw charakteryzują się właściwościami przeciwutleniającymi oraz są źródłem pierwiastków antyoksydacyjnych. W badaniach własnych stwierdzono, że mediana TPC wynosiła średnio 37,8 mg GAE/100 g produktu, a najwyższe wartości odnotowano w przetworach owocowo-warzywnych ( $112 \pm 65,37$  mg GAE/100 g). Część badaczy zaobserwowała wyższe wartości TPC. Przykładowo Usal i wsp. (2020) odnotowali ponad 10-krotnie wyższe wartości TPC w produktach dla dzieci na bazie warzyw i owoców [61]. W badaniu własnym zaobserwowano, że najwyższą zawartością związków polifenolowych charakteryzują się owoce liofilizowane, w szczególności: porzeczki, ananas, wiśnia i truskawka ( $112 \pm 65,37$  mg GAE/100 g) (**P.3**).

Brakuje danych literaturowych dotyczących analizy żywności dla dzieci w odniesieniu do zdolności wychwytywania wolnych rodników tlenowych za pomocą testu DPPH. Warzywa i owoce charakteryzują się najwyższym odsetkiem zmiatania wolnych rodników DPPH [62], co również potwierdzają wyniki badań własnych. Wykazano, że najwyższą zdolnością wychwytywania wolnych rodników w żywności charakteryzują się musy owocowo-warzywne ( $100,0 \pm 17,6\%$ ). Szajdek i wsp. (2007) zaobserwowali, że mus na bazie porzeczki i jabłka w największym stopniu wykazywał zdolność zmiatania rodników w teście DPPH [63]. Podobną zależność odnotowano w badaniu własnym, gdyż produktem o najwyższym procencie zmiatania wolnych rodników były sałatki owocowe zawierające jabłko i mus owocowy. Gotowe produkty dla dzieci na bazie warzyw i owoców są największym źródłem przeciwutleniaczy w diecie niemowląt i małych dzieci. Analizując cały asortyment gotowej żywności przeznaczonej dla najmłodszych, produkty wchodzące w skład musów dla dzieci są bogate w związki przeciwutleniające, dlatego też charakteryzują się najwyższą aktywnością antyoksydacyjną (**P.3**).

W większości przypadków gotowa żywność dla dzieci może być źródłem Cu. Zawartości Cu w poszczególnych grupach produktów były znacznie wyższe niż opisywane przez innych badaczy. W badaniu własnym wykazano, że większość grup produktów pokrywa EAR dla Cu. Szczególnie wysokim % pokrycia EAR charakteryzował się nabiał ( $196,4 \pm 184,1\%$ ) oraz obiady ( $167,1 \pm 89,1\%$ ). Stwierdzono niepokojąco wysoki procent pokrycia norm EAR w grupie musów dla dzieci ( $196,4 \pm 184,1\%$ ) oraz przekąsek do rączki ( $465,2 \pm 477,3\%$ ), co może znosić właściwości przeciwutleniające Cu. Kaszki dla dzieci oraz napoje dostarczają dużą ilość Cu, co może zaburzać odpowiedni stosunek Cu:Zn (**P.3**).

W przypadku gotowej żywności dla dzieci najwyższe stężenie Zn odnotowano w kaszkach dla dzieci. W badaniach własnych uzyskano wyniki porównywalne z doniesieniami innych autorów. Średni % pokrycia EAR dla Zn wynosił  $19,2 \pm 24\%$ , a najwyższy odsetek EAR stwierdzono w przypadku przekąsek (54,5%). W żadnej grupie produktów dla dzieci średnia porcja nie zapewniała pokrycia normy EAR dla Zn (**P.3**). Warto podkreślić dużą zmienność stosunku molowego Cu:Zn. Jak dotąd nie ustalono rekomendowanej proporcji Cu:Zn w żywności dla dzieci. Dane literaturowe wskazują, że niskie stężenie Zn i zwiększone stężenie Cu mogą zmniejszać działanie antyoksydacyjne wielu enzymów [8]. Wysoki stosunek molowy Cu:Zn we krwi może wskazywać na wysokie ryzyko niedoboru Zn u dzieci z towarzyszącymi chorobami przewlekłymi oraz występowanie stanów zapalnych [64]. W badaniu własnym najwyższy stosunek Cu:Zn odnotowano w musach owocowo-warzywnych ( $6,5 \pm 5,4$ ), a najniższy w kaszkach ( $0,2 \pm 0,1$ ) (**P.3**).

Kolejnym badanym pierwiastkiem był Se, którego zawartość w produktach dla dzieci była bardzo zróżnicowana ( $<LOD-383,6$   $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). Żywność dla dzieci pokrywała średnio  $24,3 \pm 22,9\%$  EAR dla Se. Biorąc pod uwagę poszczególne grupy produktów, najwyższe stężenie



Se odnotowano w nabiale. W badaniu przeprowadzonym wśród brytyjskiej populacji zawartość Se w żywności dla dzieci była porównywalna z wynikami badań własnych [65]. Do odmiennych wniosków doszli hiszpańscy badacze, gdzie obiadki na bazie ryb i mięsa zawierały najwyższe zawartości Se [66], podczas gdy w badaniu własnym w obiadkach odnotowano najniższe stężenia tego pierwiastka ( $26,7 \pm 14,3 \mu\text{g/kg}$ ). Rozbieżności w wynikach mogą być spowodowane zmienną zawartością Se w glebie i paszy dla zwierząt [18] **(P.3)**.

Stwierdzono także różnice we właściwościach przeciwutleniających oraz zawartościach Cu, Se i Zn w gotowych produktach przeznaczonych dla dzieci w wieku 0,5-1 lat oraz 1-3 lat. Produkty dedykowane dla grupy wiekowej 0,5-1 lat wykazywały wyższy procent wychwytu DPPH i wyższą zawartość TPC w porównaniu dla produktów bez deklaracji wiekowej. Produkty przeznaczone dla niemowląt w wieku 0,5-1 lat charakteryzowały się istotnie wyższymi stężeniami Cu i Se w porównaniu z produktami bez deklaracji wieku **(P.3)**.

Z analizy badań własnych wykazano, że żywność ekologiczna dla dzieci zawiera znacznie większą ilość Zn w porównaniu do żywności konwencjonalnej. Co interesujące, tej zależności nie zaobserwowano dla pozostałych analizowanych pierwiastków **(P.3)**. Ekologiczna żywność dla dzieci, w porównaniu do żywności tradycyjnej, nie jest bardziej bezpieczna pod kątem zanieczyszczenia pierwiastkami toksycznymi, jednak niektóre produkty, takie jak przekąski i napoje dla dzieci oznaczone certyfikatem ekologicznym, zawierają mniejszą ilość Hg **(Załącznik 1)**. Obecnie nie ma wystarczających danych literaturowych, aby stwierdzić, że żywność ekologiczna wykazuje znacznie większą wartość prozdrowotną [67], a Amerykańska Akademia Pediatrii nie rekomenduje żywności ekologicznej jako pierwszego wyboru dla dzieci- zamiast żywności konwencjonalnej [68].

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że w żywności gotowej, przeznaczonej dla dzieci do spożycia, obecne są pierwiastki toksyczne, a niektóre produkty zawierają niepokojącą zawartość Hg i Pb **(P.2)**.

Analizując zawartość As najwyższe stężenia zaobserwowano w kaszkach dla dzieci na bazie zbóż bezglutenowych oraz w wafelkach, a w większości produktów głównym składnikiem był ryż. Spośród wszystkich badanych produktów najwyższe stężenie As wykryto w batonie owocowym na bazie ryżu. Ljung i wsp. (2011) stwierdzili, że produkty ryżowe dostarczają najwięcej As (nawet aż do  $30 \mu\text{g/kg}$ ) [69]. Igweze i wsp. (2020) wykazali, że w produktach dla dzieci na bazie ryżu odnotowuje się przekroczone stężenia As [70]. Do odmiennych wniosków doszli hiszpańscy badacze, ponieważ As znajdował się w 3 obiadkach dla dzieci na bazie warzyw i ryb, a w jednym produkcie stwierdzono przekroczenie dopuszczalnej normy dla tego pierwiastka [4]. W niniejszej pracy normy dla As nie zostały przekroczone, natomiast wspomniany pierwiastek był obecny w produktach dla dzieci na bazie ryżu. Podobną zależność odnotowali badacze ze Stanów Zjednoczonych, którzy wykazali, że produkty ryżowe dla dzieci charakteryzowały się wyższą zawartością As w porównaniu do produktów pszennych i owsianych, jednak nie przekraczały dopuszczalnej normy [71]. W Polsce ryż jest spożywany sporadycznie, a wśród dzieci do 3. roku życia jego średnie spożycie wynosi  $17,9 \text{ g/dzień}$ . Asortyment produktów ryżowych dla dzieci na polskim rynku jest stosunkowo duży i są one powszechnie spożywane przez dzieci, więc mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia **(P.2)**.

W badaniu własnym największą zawartość Cd stwierdzono w obiadku dla dzieci na bazie łososia, co może sugerować szczególną ostrożność w spożywaniu ryb przez dzieci. Spośród różnych grup najwyższe stężenia zaobserwowano w napojach dla dzieci i wodzie, ale nie została przekroczona maksymalna dopuszczalna zawartość Cd **(P.2)**. Wysokie poziomy niniejszego pierwiastka w żywności mogą być spowodowane dużą zawartością w wodzie z uwagi na wysoką zdolność Cd do kumulacji [49]. Część badaczy zanotowała wyższą

zawartość Cd w żywności dla dzieci [72] [73], [74] natomiast referencyjne wartości nie zostały przekroczone.

W badaniach własnych stwierdzono przekroczenie maksymalnej zawartości Hg w 1,5% analizowanych produktów. Należy podkreślić, że dopuszczalny dzienny limit Hg został przekroczony w 6 produktach, z czego 3 produkty były daniami obiadowymi, przy czym 2 z nich zawierały w swoim składzie ryby. Częste spożywanie ryb przez dzieci powinno budzić dużą ostrożność w świetle potencjalnego ryzyka narażenia na Hg. Przewlekła ekspozycja na zanieczyszczone Hg ryby może prowadzić do uszkodzeń centralnego układu nerwowego, upośledzenia układu immunologicznego oraz zaburzeń krążenia u dzieci. Zawartości Hg w poszczególnych produktach oznaczone w badaniach własnych były wyższe niż przedstawione przez innych badaczy [74,75] **(P.2)**.

Analizując zawartość Pb w 4,5% żywności dla dzieci odnotowano przekroczenie dopuszczalnej normy. Do podobnych wniosków doszedł zespół z Serbii [76], gdyż badacze odnotowali przekroczenia dopuszczalnej zawartości Pb we wszystkich badanych sokach. Porównywalne rezultaty zaobserwowano w badaniu własnym, gdyż najwięcej przekroczeń odnotowano w napojach (w 7 produktach, co stanowi 1,8% wszystkich prób). Badacze z Serbii zaobserwowali także wysokie stężenia Pb m.in. w żywności dla dzieci na bazie owoców i warzyw a podobną zależność odnotowano w niniejszej pracy w przypadku musów owocowych. Duża zawartość tego pierwiastka w żywności dla dzieci powinna budzić niepokój, gdyż Pb działa neurotoksycznie w ilościach poniżej maksymalnej dopuszczalnej zawartości, tak więc każde narażenie na Pb może wpływać na opóźnienie rozwoju intelektualnego oraz zaburzenie funkcji poznawczych. Obecność Pb w produktach owocowych i warzywnych może pochodzić z procesów produkcyjnych lub skażonej gleby [76]. Należy podkreślić, że absorpcja Pb z przewodu pokarmowego dzieci jest pięciokrotnie wyższa w porównaniu do osób dorosłych, tak więc ekspozycja dzieci na ten pierwiastek jest szczególnie niebezpieczna. Owoce i warzywa są jednym z kluczowych elementów diety niemowląt i małych dzieci, dlatego nie powinno się z nich rezygnować. Należy zachęcać dzieci do większej różnorodności diety, aby zminimalizować ryzyko potencjalnego narażenia na Pb **(P.2)**.

W badaniach własnych stwierdzono, że gotowa żywność dla dzieci w większości przypadków może być bezpieczna, a oszacowane wskaźniki toksykologiczne nie wykazują zwiększonego ryzyka zdrowotnego w odniesieniu do ekspozycji na pierwiastki toksyczne. Niepokojący jest fakt, że niektórych produktach odnotowano przekroczenie dopuszczalnego limitu dla Pb i Hg. W Polsce około 60% niemowląt i małych dzieci spożywa gotową żywność, co może budzić obawy co do zasadności takich praktyk żywieniowych, szczególnie wśród dzieci, których rodzice opierają całodzienne odżywianie na żywności gotowej do spożycia. Z wyników badań własnych wynika, że warto ograniczyć spożycie gotowych produktów na bazie ryb. Spośród badanego asortymentu najwyższe stężenie Cd odnotowano w potrawie na bazie łososia, w przypadku Hg największe ilości zaobserwowano w potrawie na bazie morszczuka. Wśród analizowanych obiadów przeznaczonych dla dzieci powyżej 1. roku życia znalazła się potrawa na bazie tuńczyka, którego w tej grupie wiekowej w ogóle nie należy spożywać. Spożywanie ryb przez dzieci przynosi wiele korzyści zdrowotnych, dlatego nie należy ich wykluczać z diety dzieci, natomiast rodzice powinni zwracać uwagę na dobór gatunków ryb, które nie stwarzają zagrożenia dla zdrowia. Zgodnie z wynikami badań własnych produkty zbożowe (szczególnie na bazie ryżu) zawierały duże ilości As. Kaszki dla dzieci i przekąski charakteryzowały się jednym z wyższych stężeń pierwiastków toksycznych **(P.2)**. Wobec powyższego, produkty zbożowe mogą kumulować pierwiastki toksyczne, a ich nadmierne spożywanie stanowi wyższe ryzyko zdrowotne u dzieci.

Szczegółowe porównania wyników badań własnych na tle innych autorów zostały przedstawione w poszczególnych publikacjach, stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej **(P.1-P.3)**.

Można uznać, że hipoteza 1 została częściowo zweryfikowana pozytywnie. W większości przypadków żywność dla dzieci jest bezpieczna pod kątem zanieczyszczenia pierwiastkami toksycznymi, natomiast w 6% odnotowano przekroczenia norm Hg i Pb. W przypadku Pb warto zwrócić uwagę zwłaszcza na napoje i przekąski, gdyż są to produkty szczególnie zanieczyszczone Pb. Mając na względzie przekroczenia zawartości Hg, w przypadku regularnie spożywanych obiadków zawierających w swoim składzie ryby powinno się rozważyć bezpieczeństwo częstego spożycia tego typu żywności.

Hipoteza 2 została częściowo zweryfikowana negatywnie. Ekologiczna żywność dla dzieci w większości przypadków charakteryzowała się wyższą zawartością pierwiastków toksycznych, w porównaniu do żywności tradycyjnej. Jedynie w przypadku Hg żywność ekologiczna zawierała istotnie mniej tego pierwiastka. W żywności ekologicznej odnotowano także niższe wartości parametrów antyoksydacyjnych (TPC, odsetek zmiatania wolnych rodników DPPH) a także niższe stężenia zawartości Cu i Se w odniesieniu do żywności tradycyjnej. Gotowa żywność dla dzieci charakteryzowała się jedynie istotnie wyższą zawartością Zn.

## 6. Wnioski

Sformułowano następujące wnioski:

1. Gotowe produkty przeznaczone do spożycia dla dzieci dostarczają związków polifenolowych, a także Cu, Se oraz Zn, mogą zatem wspomagać procesy antyoksydacyjne.
2. Biorąc pod uwagę wysoki stosunek molowy Cu : Zn należałoby zwrócić szczególną uwagę na podaż produktów będących źródłem Zn, szczególnie w przypadkach wysokiego spożycia musów owocowo-warzywnych i niskiego spożycia produktów na zbóż.
3. Właściwości przeciwutleniające żywności ekologicznej dla dzieci w większości przypadków nie różnią się od żywności tradycyjnej. Jedynie w przypadku Zn zawartość tego pierwiastka była wyższa w produktach ekologicznych.
4. Zawartość pierwiastków antyoksydacyjnych w analizowanych grupach produktów dla dzieci jest zróżnicowana, dlatego też dieta tej grupy wiekowej powinna być możliwie jak najbardziej urozmaicona, aby zminimalizować ryzyko niewystarczającego spożycia żywności o działaniu przeciwutleniającym.
5. Ekologiczna żywność dla dzieci, w porównaniu do żywności tradycyjnej, nie jest bardziej bezpieczna pod kątem zanieczyszczenia pierwiastkami toksycznymi, jednak niektóre produkty, takie jak przekąski i napoje dla dzieci oznaczone certyfikatem ekologicznym, zawierają mniejszą ilość Hg.
6. Większość analizowanych produktów nie stanowi zagrożenia dla zdrowia, jednak niektóre produkty mogą być zanieczyszczone pierwiastkami toksycznymi, zwłaszcza Hg i Pb. Wobec powyższego, zawartość pierwiastków toksycznych w żywności dla dzieci powinna być monitorowana. Należy rozważyć ograniczenie spożycia żywności dla dzieci na bazie ryb, zbóż, przekąsek i napojów dla dzieci.

Podsumowując, należy stwierdzić, że istnieje potrzeba monitorowania zawartości pierwiastków toksycznych w gotowej żywności spożywanej przez dzieci, co może przyczynić się do podniesienia jakości i bezpieczeństwa zdrowotnego produktów dla dzieci. Uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w rekomendacjach dotyczących żywności i żywienia niemowląt i małych dzieci. Istotne wydają się także działania zmierzające do edukacji i popularyzacji wiedzy o jakości zdrowotnej produktów dla dzieci.

## 7. Piśmiennictwo

1. Global strategy for infant and young child feeding. World Health Organization & United Nations Children's Fund (UNICEF). Available online: <https://www.who.int/publications/i/item/9241562218> (accessed on 06.06.2023).
2. Mennella, J.A. Ontogeny of taste preferences: basic biology and implications for health. *Am J Clin Nutr* 2014, 99, 704s-711s, doi:10.3945/ajcn.113.067694.
3. Matonti, L.; Blasetti, A.; Chiarelli, F. Nutrition and growth in children. *Minerva Pediatr* 2020, 72, 462-471, doi:10.23736/s0026-4946.20.05981-2.
4. Trichopoulou, A.; Bamia, C.; Trichopoulos, D. Anatomy of health effects of Mediterranean diet: Greek EPIC prospective cohort study. *BMJ* 2009, 338, b2337, doi:10.1136/bmj.b2337.
5. Kumar, S.; Abhay Pandey. "Free radicals: health implications and their mitigation by herbals." *Br J Med Med Res* 2015, 7,6 , 438-457.
6. Vetlényi, E.; Rácz, G. The physiological function of copper, the etiological role of copper excess and deficiency. *Orv Hetil* 2020, 161, 1488-1496, doi:10.1556/650.2020.31854.
7. Gaetke, L.M.; Chow, C.K. Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients. *Toxicology* 2003, 189, 147-163, doi:10.1016/s0300-483x(03)00159-8.
8. Josko, Osredkar; N.S. Copper and zinc, biological role and significance of copper/zinc imbalance. *J Clin Toxicol* 2011, S:3.
9. Araya, M.; Koletzko, B.; Uauy, R. Copper deficiency and excess in infancy: developing a research agenda. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2003, 37, 422-429, doi:10.1097/00005176-200310000-00005.
10. Marzec, A.; Zareba, S. Copper and zinc in food products for infants and children. *Rocz Panstw Zakl Hig* 2005, 56, 355-359.
11. Jarosz, M.; Rychlik, E.; Stoś, K.; Charzewska, J. Normy żywienia dla populacji Polski i ich zastosowanie; Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego-Państwowy Zakład Higieny Warsaw, Poland: 2020.
12. Ceballos-Rasgado, M.; Lowe, N.M.; Moran, V.H.; Clegg, A.; Mallard, S.; Harris, C.; Montez, J.; Xipiti, M. Toward revising dietary zinc recommendations for children aged 0 to 3 years: a systematic review and meta-analysis of zinc absorption, excretion, and requirements for growth. *Nutr Rev* 2022, doi:10.1093/nutrit/nuac098.
13. Prasad, A.S. Discovery of human zinc deficiency: its impact on human health and disease. *Adv Nutr* 2013, 4, 176-190, doi:10.3945/an.112.003210.
14. Wessells K., Brown K. Estimating the global prevalence of zinc deficiency: results based on zinc availability in national food supplies and the prevalence of stunting 2012, *PLOS ONE* 7(11): e50568.
15. Brown, K.H.; Peerson, J.M.; Rivera, J.; Allen, L.H. Effect of supplemental zinc on the growth and serum zinc concentrations of prepubertal children: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr* 2002, 75, 1062-1071, doi:10.1093/ajcn/75.6.1062.
16. Ekweagwu, E.; Agwu, A.E.; Madukwe, E. The role of micronutrients in child health: A review of the literature. *AJB* 2008, 7.
17. Minich, W.B. Selenium metabolism and biosynthesis of selenoproteins in the human body. *Biochem. (Mosc.)* 2022, 87, 168-102, doi:10.1134/s0006297922140139.
18. Mehdi, Y.; Hornick, J.L.; Istasse, L.; Dufrasne, I. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules* 2013, 18, 3292-3311, doi:10.3390/molecules18033292.

19. Morris, J.S.; Crane, S.B. Selenium toxicity from a misformulated dietary supplement, adverse health effects, and the temporal response in the nail biologic monitor. *Nutrients* 2013, 5, 1024-1057, doi:10.3390/nu5041024.
20. Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. Dostęp online (31.10.2023): <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzienniki-UE/rozporzadzenie-1881-2006-ustalajace-najwyzsze-dopuszczalne-pozioomy-67651956>.
21. Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 . Dostęp online (31.10.2023): [https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/PL/TXT/?toc=OJ%3AL%3A2023%3A119%3ATOC&uri=uriserv%3AOJ.L\\_.2023.119.01.0103.01.POL](https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/PL/TXT/?toc=OJ%3AL%3A2023%3A119%3ATOC&uri=uriserv%3AOJ.L_.2023.119.01.0103.01.POL).
22. Rozporządzenie Komisji (UE) 2021/1323 z dnia 10 sierpnia 2021 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów kadmu w niektórych środkach spożywczych. Dostęp online (31.10.2023): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1323>.
23. Rozporządzenie (WE) NR 852/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie higieny środków spożywczych. Dostęp online (31.10.2023): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=celex%3A32004R0852>
24. Paz-Sabillón, M.; Torres-Sánchez, L.; Piña-Pozas, M.; Del Razo, L.M.; Quintanilla-Vega, B. Prenatal Exposure to Potentially Toxic Metals and Their Effects on Genetic Material in Offspring: a Systematic Review. *Biol Trace Elem Res* 2023, 201, 2125-2150, doi:10.1007/s12011-022-03323-2.
25. Patriarca, M.; Menditto, A.; Rossi, B.; Lyon, T.D.B.; Fell, G.S. Environmental exposure to metals of newborns, infants and young children. *Microchem. J.* 2000, 67, 351-361.
26. Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006, dostęp online: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/toc=OJ%3AL%3A2023%3A119%3ATOC&uri=uriserv%3AOJ.L\\_.2023.119.01.0103.01.POL](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/toc=OJ%3AL%3A2023%3A119%3ATOC&uri=uriserv%3AOJ.L_.2023.119.01.0103.01.POL) dostęp: 12.10.2023.
27. Harton A.; Kostecka M.; Matuszczyk M.; Myszkowska-Ryciak J.; Jachimowicz K.; Jasiński M.; Socha P. Raport bezpieczeństwa żywności a potrzeby żywieniowe niemowląt i małych dzieci, Fundacja Warszawa 2022, PWN.
28. Arsenic, metals, fibres, and dusts. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 2012, 100, 11-465.
29. Khosravi-Darani K.; Rehman Y.; Katsoyiannis I.A.; Kokkinos E.; Zouboulis A.I. Arsenic exposure via contaminated water and food sources. *Water* 2022: 14, 1884.
30. Sirot, V.; Traore, T.; Guérin, T.; Noël, L.; Bachelot, M.; Cravedi, J.P.; Mazur, A.; Glorennec, P.; Vasseur, P.; Jean, J. French infant total diet study: Exposure to selected trace elements and associated health risks. *Food Chem Toxicol* 2018, 120, 625-633, doi:10.1016/j.fct.2018.07.062.
31. Signes-Pastor, A.J.; Carey, M.; Meharg, A.A. Inorganic arsenic in rice-based products for infants and young children. *Food Chem* 2016, 191, 128-134, doi:10.1016/j.foodchem.2014.11.078.
32. Rodríguez-Barranco, M.; Gil, F.; Hernández, A.F.; Alguacil, J.; Lorca, A.; Mendoza, R.; Gómez, I.; Molina-Villalba, I.; González-Alzaga, B.; Aguilar-Garduño, C. Postnatal arsenic exposure and attention impairment in school children. *Cortex* 2016, 74, 370-382, doi:10.1016/j.cortex.2014.12.018.

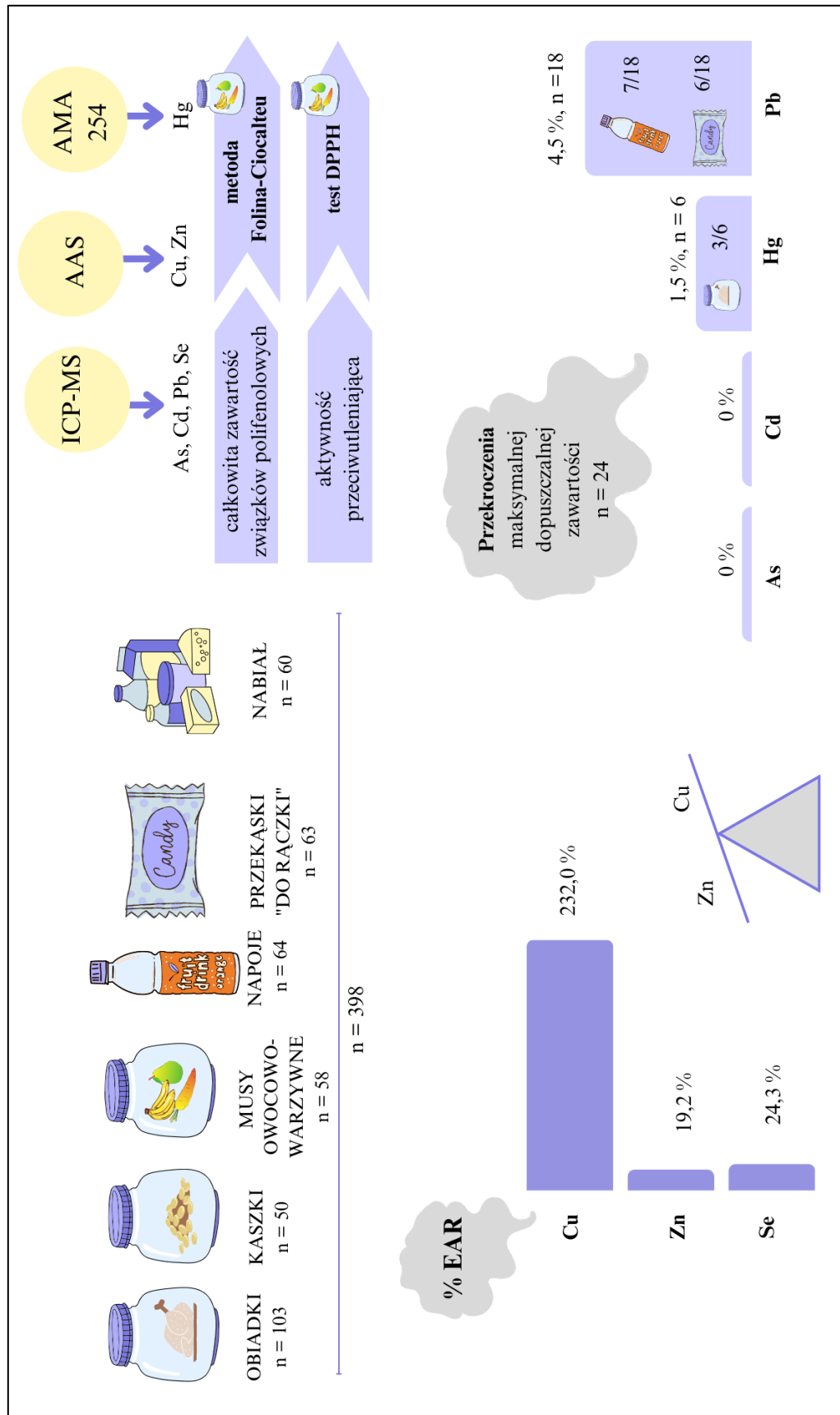
33. Tsuji, J.S.; Garry, M.R.; Perez, V.; Chang, E.T. Low-level arsenic exposure and developmental neurotoxicity in children: A systematic review and risk assessment. *Toxicology* 2015, 337, 91-107, doi:10.1016/j.tox.2015.09.002.
34. Bae, S.; Kamynina, E.; Guetterman, H.M.; Farinola, A.F.; Caudill, M.A.; Berry, R.J.; Cassano, P.A.; Stover, P.J. Provision of folic acid for reducing arsenic toxicity in arsenic-exposed children and adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2021, 10, Cd012649, doi:10.1002/14651858.CD012649.pub2.
35. Gundert-Remy, U.; Damm, G.; Foth, H. High exposure to inorganic arsenic by food: the need for risk reduction. *Arch Toxicol* 2015, 89, 2219-2227.
36. Qing, Y.; Yang, J.; Chen, Y.; Shi, C.; Zhang, Q.; Ning, Z.; Yu, Y.; Li, Y. Urinary cadmium in relation to bone damage: Cadmium exposure threshold dose and health-based guidance value estimation. *Ecotoxicol Environ Saf* 2021, 226, 112824, doi:10.1016/j.ecoenv.2021.112824.
37. Wang, Z.; Wang, H.; Xu, Z.M.; Ji, Y.L.; Chen, Y.H.; Zhang, Z.H.; Zhang, C.; Meng, X.H.; Zhao, M.; Xu, D.X. Cadmium-induced teratogenicity: association with ROS-mediated endoplasmic reticulum stress in placenta. *Toxicol Appl Pharmacol* 2012, 259, 236-247, doi:10.1016/j.taap.2012.01.001.
38. Ling, L.B.; Chang, Y.; Liu, C.W.; Lai, P.L.; Hsu, T. Oxidative stress intensity-related effects of cadmium (Cd) and paraquat (PQ) on UV-damaged-DNA binding and excision repair activities in zebrafish (*Danio rerio*) embryos. *Chemosphere* 2017, 167, 10-18, doi:10.1016/j.chemosphere.2016.09.068.
39. Zhang, T.; Gao, X.; Luo, X.; Li, L.; Ma, M.; Zhu, Y.; Zhao, L.; Li, R. The effects of long-term exposure to low doses of cadmium on the health of the next generation of mice. *Chem Biol Interact* 2019, 312, 108792, doi:10.1016/j.cbi.2019.108792.
40. Chukwujindu, M.A.; Iwegbue; Ufuoma A., Onyonyewoma; Francisca I., Bassey; Godwin, E., Nwajei; Bice S., Martincigh. Concentrations and Health Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Some Brands of Biscuits in the Nigerian Market. *HERA* 2015, 338-357.
41. Llop, S.; Murcia, M.; Aguinagalde, X.; Vioque, J.; Rebagliato, M.; Cases, A.; Iñiguez, C.; Lopez-Espinosa, M.J.; Amurrio, A.; Navarrete-Muñoz, E.M., et al. Exposure to mercury among Spanish preschool children: trend from birth to age four. *Environ Res* 2014, 132, 83-92.
42. Bose-O'Reilly, S.; McCarty, K.M.; Steckling, N.; Lettmeier, B. Mercury exposure and children's health. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care* 2010, 40, 186-215, doi:10.1016/j.cppeds.2010.07.002.
43. Dack, K.; Fell, M.; Taylor, C.M.; Havdahl, A.; Lewis, S.J. Mercury and prenatal growth: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health* 2021, 18.
45. Krajowy Standard Bezpieczeństwa Żywności. Maksymalne poziomy zanieczyszczeń w produktach spożywczych, GB 2762—2012.
46. Etchevers, A.; Bretin, P.; Lecoffre, C.; Bidondo, M.L.; Le Strat, Y.; Glorennec, P.; Le Tertre, A. Blood lead levels and risk factors in young children in France, 2008-2009. *Int J Hyg Environ Health* 2014, 217, 528-537, doi:10.1016/j.ijheh.2013.10.002.
47. Bodeau-Livinec, F.; Glorennec, P.; Cot, M.; Dumas, P.; Durand, S.; Massougboji, A.; Ayotte, P.; Le Bot, B. Elevated Blood Lead Levels in Infants and Mothers in Benin and Potential Sources of Exposure. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2016, 13, doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph13030316>.
48. Swarngen, B.F.; Gawlik, E.; Kamenov, G.D.; McTigue, N.E.; Cornwell, D.A.; Bonzongo, J.J. Children's exposure to environmental lead: A review of potential sources, blood levels, and methods used to reduce exposure. *Environ Res* 2022, 204, 112025, doi:10.1016/j.envres.2021.112025.

49. Satarug, S.; C Gobe, G.; A Vesey, D.; Phelps, K.R. Cadmium and lead exposure, nephrotoxicity, and mortality. *Toxics* 2020, 8, doi:10.3390/toxics8040086.
50. Koszucka, A.; Nowak, A.; Nowak, I.; Motyl, I. Acrylamide in human diet, its metabolism, toxicity, inactivation and the associated European Union legal regulations in food industry. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2020, 60, 1677-1692, doi:10.1080/10408398.2019.1588222.
51. Schecter, A.; Malik, N.; Haffner, D.; Smith, S.; Harris, T. R.; Paepke, O.; Birnbaum, L. Bisphenol a (BPA) in US food. *Environmental science & technology* 2010, 44, 24, 9425-9430.
52. Anand, N.; Chakraborty, P.; Ray, S. Human exposure to organochlorine, pyrethroid and neonicotinoid pesticides: Comparison between urban and semi-urban regions of India. *Environ Pollut* 2021, 270, 116156, doi:10.1016/j.envpol.2020.116156.
53. Sosan, M.B.; Adeleye, A.O.; Oyekunle, J.A.O.; Udah, O.; Oloruntunbi, P.M.; Daramola, M.O.; Saka, W.T. Dietary risk assessment of organochlorine pesticide residues in maize-based complementary breakfast food products in Nigeria. *Heliyon* 2020, 6, 05803, doi:10.1016/j.heliyon.2020.e05803.
54. Schrenk, D.; Bignami, M.; Bodin, L.; Del Mazo, J.; Grasl-Kraupp, B.; Hogstrand, C.; Hoogenboom, L.R.; Leblanc, J.C.; Nebbia, C.S.; Nielsen, E., et al. Update of the risk assessment of mineral oil hydrocarbons in food. *EFSA J* 2023, 21, e08215, doi:10.2903/j.efsa.2023.8215.
55. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 609/2013 z dnia 12 czerwca 2013 r. w sprawie żywności przeznaczony dla niemowląt i małych dzieci oraz żywności specjalnego przeznaczenia medycznego i środków spożywczych zastępujących całodzienną dietę, do kontroli masy ciała oraz uchylające dyrektywę Rady 92/52/EWG, dyrektywy Komisji 96/8/WE, 1999/21/WE, 2006/125/WE i 2006/141/WE, dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/39/WE oraz rozporządzenia Komisji (WE) nr 41/2009 i (WE) nr 953/2009.
56. Foterek, K.; Hilbig, A.; Alexy, U. Breast-feeding and weaning practices in the DONALD study: age and time trends. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2014, 58, 361-367, doi:10.1097/MPG.0000000000000202.
57. Theurich, M.A.; Zaragoza-Jordana, M.; Luque, V.; Gruszfeld, D.; Gradowska, K.; Xhonneux, A.; Riva, E.; Verduci, E.; Poncelet, P.; Damianidi, L. Commercial complementary food use amongst European infants and children: results from the EU Childhood Obesity Project. *Eur J Nutr* 2020, 59, 1679-1692, doi:10.1007/s00394-019-02023-3.
58. Haftenberger, M.; Lehmann, F.; Lage Barbosa, C.; Brettschneider, A.K.; Mensink, G.B.M. Consumption of organic food by children in Germany - Results of EsKiMo II. *J Health Monit* 2020, 5, 19-26, doi:10.25646/6399.
59. Smith-Spangler, C.; Brandeau, M.L.; Hunter, G.E.; Bavinger, J.C.; Pearson, M.; Eschbach, P.J.; Sundaram, V.; Liu, H.; Schirmer, P.; Stave, C. Are organic foods safer or healthier than conventional alternatives?: a systematic review. *Ann Intern Med* 2012, 157, 348-366, doi:10.7326/0003-4819-157-5-201209040-00007.
60. Weker, H.; Barańska, M.; Riahi, A.; Strucińska, M.; Więch, M.; Rowicka, G.; Dyląg, H.; Klemarczyk, W.; Bzikowska, A.; Socha, P. Nutrition of infants and young children in Poland - Pitnuts 2016. *Dev Period Med* 2017, 21, 13-28.
61. Usal, M.; Sahan, Y. In vitro evaluation of the bioaccessibility of antioxidative properties in commercially baby foods. *J Food Sci Technol* 2020, 57, 3493-3501, doi:10.1007/s13197-020-04384-8.
62. Pérez-Lamela, C.; Franco, I.; Falqué, E. Impact of high-pressure processing on antioxidant activity during storage of fruits and fruit products: a review. *Molecules* 2021, 26, doi:10.3390/molecules26175265.



63. Szajdek, A.; Borowska, E.J.; Borowski, J.; Saczuk, B. Musy owocowe jako źródło naturalnych przeciwutleniaczy. *ŻNTJ* 2007, 14.
64. Escobedo-Monge, M.F.; Barrado, E.; Parodi-Román, J.; Escobedo-Monge, M.A.; Torres-Hinojal, M.C.; Marugán-Miguelsanz, J.M. Copper and copper/zinc ratio in a series of children with chronic diseases: a cross-sectional study. *Nutrients* 2021, 13, doi:10.3390/nu13103578.
65. Khamoni, J.A.; Hamshaw, T.; Gardiner, P.H.E. Impact of ingredients on the elemental content of baby foods. *Food Chem* 2017, 231, 309-315, doi:10.1016/j.foodchem.2017.03.143.
66. Ruiz-de-Cenzano, M.; Rochina-Marco, A.; Cervera, M.L.; de la Guardia, M. Evaluation of the content of antimony, arsenic, bismuth, selenium, tellurium and their inorganic forms in commercially baby foods. *Biol Trace Elem Res* 2017, 180, 355-365, doi:10.1007/s12011-017-1018-y.
67. Batra, P.; Sharma, N.; Gupta, P. Organic foods for children: health or hype. *Indian Pediatr* 2014, 51, 349-353, doi:10.1007/s13312-014-0412-1.
68. Forman, J.; Silverstein, J.; Committee On, N.; Council On Environmental, H.; Bhatia, J.J.S.; Abrams, S.A.; Corkins, M.R.; de Ferranti, S.D.; Golden, N.H.; Paulson, J.A., Organic foods: health and environmental advantages and disadvantages. *Pediatrics* 2012, 130, 1406-1415, doi:10.1542/peds.2012-2579.
69. Ljung, K.; Palm, B.; Grandér, M.; Vahter, M. High concentrations of essential and toxic elements in infant formula and infant foods - A matter of concern. *Food Chem* 2011, 127, 943-951, doi:10.1016/j.foodchem.2011.01.062.
70. Igweze, Z.N.; Ekhatior, O.C.; Nwaogazie, I.; Orisakwe, O.E. Public health and pediatric risk assessment of aluminium, arsenic and mercury in infant formulas marketed in Nigeria. *Sultan Qaboos Univ Med J* 2020, 20, 63-70, doi:10.18295/squmj.2020.20.01.009.
71. Rothenberg, S.E.; Jackson, B.P.; Carly McCalla, G.; Donohue, A.; Emmons, A.M. Co-exposure to methylmercury and inorganic arsenic in baby rice cereals and rice-containing teething biscuits. *Environ Res* 2017, 159, 639-647, doi:10.1016/j.envres.2017.08.046.
72. Kim, D.W.; Woo, H.D.; Joo, J.; Park, K.S.; Oh, S.Y.; Kwon, H.J.; Park, J.D.; Hong, Y.S.; Sohn, S.J.; Yoon, H.J. Estimated long-term dietary exposure to lead, cadmium, and mercury in young Korean children. *Eur J Clin Nutr* 2014, 68, 1322-1326, doi:10.1038/ejcn.2014.116.
73. De Castro, C.S.; Arruda, A.F.; Da Cunha, L.R.; SouzaDe, J.R.; Braga, J.W.; Dórea, J.G. Toxic metals (Pb and Cd) and their respective antagonists (Ca and Zn) in infant formulas and milk marketed in Brasilia, Brazil. *Int J Environ Res Public Health* 2010, 7, 4062-4077, doi:10.3390/ijerph7114062.
74. Spungen, J.H. Children's exposures to lead and cadmium: FDA total diet study 2014-16. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 2019, 36, 893-903, doi:10.1080/19440049.2019.1595170.
75. Martins, C.; Vasco, E.; Paixão, E.; Alvito, P. Total mercury in infant food, occurrence and exposure assessment in Portugal. *Food Addit Contam Part B Surveill* 2013, 6, 151-157, doi:10.1080/19393210.2013.775603.
76. Rasic Misic, I.D.; Tomic, S.B.; Pavlovic, A.N.; Pecev-Marinkovic, E.T.; Mrmosanin, J.M.; Mitic, S.S.; Stojanovic, G.S. Trace element content in commercial complementary food formulated for infants and toddlers: Health risk assessment. *Food Chem* 2022, 378, 132113, doi:10.1016/j.foodchem.2022.132113.

## 8. Graficzne streszczenie pracy



## 9. Streszczenie

### Streszczenie w języku polskim

Prawidłowe odżywianie w pierwszych latach życia jest kluczowe w optymalnym rozwoju i funkcjonowaniu dzieci. Wśród rodziców coraz bardziej popularny staje się model żywienia oparty o gotowe produkty dla dzieci. Spożycie żywności zanieczyszczonej pierwiastkami toksycznymi jest szczególnie niebezpieczne w pierwszych latach życia, ponieważ ekspozycja na nie może wpływać negatywnie na rozwój dzieci, nawet przy niskim poziomie narażenia. Przeciwutleniacze wykazują działanie ochronne w stosunku do pierwiastków toksycznych, istotna jest ocena ich zawartości w produktach spożywanych przez dzieci. Żywność przeznaczona dla dzieci powinna charakteryzować się jak najlepszą wartością prozdrowotną i zawierać możliwie jak najmniej pierwiastków toksycznych. Celem podjętych badań była ocena bezpieczeństwa pod względem zawartości pierwiastków toksycznych oraz właściwości przeciwutleniających wybranej żywności spożywanej przez dzieci. Materiał badawczy stanowiło łącznie 398 prób gotowej żywności spożywanej przez dzieci (obiadki dla dzieci, kaszki, musy owocowo-warzywne, przekąski, napoje i nabiał). Do analizy aktywności przeciwutleniającej zastosowano test zmiatania rodników z wykorzystaniem 2,2-difenylo-1-pikrylhydrazylowych (DPPH) oraz metodę Folina-Ciocalteu do określenia całkowitej zawartości związków polifenolowych (TPC). W celu przygotowania prób do oceny zawartości pierwiastków produkty homogenizowano oraz przeprowadzono mineralizację mikrofalową w systemie zamkniętym (z wyjątkiem oznaczania Hg). Do oceny stężenia Cu i Zn zastosowano metodę atomowej spektrometrii absorpcyjnej (AAS). Oznaczenie Se przeprowadzono przy użyciu spektrometrii mas w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-MS). Oceniono w jakim stopniu spożycie badanego asortymentu pokrywa normę EAR (średnie zapotrzebowanie grupy) (**P.3**). Do oceny stężenia As, Cd, Pb wykorzystano metodę ICP-MS. Zawartość Hg oznaczono przy użyciu metody AAS z wykorzystaniem techniki amalgamacji. Z wykorzystaniem wskaźników toksykologicznych oceniono bezpieczeństwo spożycia żywności dla dzieci pod kątem narażenia na pierwiastki toksyczne (**P.1, P.2**).

Stwierdzono, że żywność dla dzieci wykazuje właściwości antyoksydacyjne. Musy owocowo-warzywne zawierały najwyższą wartość TPC, a także najwyższy odsetek zmiatania wolnych rodników w teście DPPH. Nabiał dla dzieci charakteryzował się najwyższą średnią zawartością Cu i Se, a kaszki dla dzieci zawierały najwięcej Zn. W żywności ekologicznej dla dzieci odnotowano istotnie wyższą zawartość Zn w porównaniu do żywności tradycyjnej (**P.3**). Najwyższe stężenie As odnotowano w wafelkach i chrupkach dla dzieci. W przypadku Cd były to obiadki dla dzieci na bazie ryb. Obiadki na bazie drobiu zawierały najwięcej Pb, a najwyższe stężenie Hg stwierdzono w nabiale. Nie odnotowano przekroczeń wskaźników toksykologicznych (**P.2**).

Żywność gotowa do spożycia przez dzieci charakteryzuje się właściwościami przeciwutleniającymi oraz jest źródłem pierwiastków antyoksydacyjnych. Żywność ekologiczna dla dzieci w większości przypadków nie różni się od żywności tradycyjnej w aspekcie właściwości antyoksydacyjnych. Produkty dla dzieci mogą być zanieczyszczone pierwiastkami toksycznymi, jednak większość nie stanowi zagrożenia zdrowotnego. W niektórych produktach stwierdzono jednak przekroczenie limitów Pb i Hg. Uzyskane wyniki wskazują, że istnieje potrzeba monitorowania zawartości pierwiastków toksycznych w gotowych produktach przeznaczonych dla dzieci.

## Streszczenie w języku angielskim

Proper nutrition in the first years of life is crucial for the optimal development and functioning of children. Additionally, a feeding model based on ready-made products for children is becoming more and more popular among parents. Consuming food contaminated with toxic elements is particularly dangerous in the first years of life because exposure to them can affect children's development, even at low levels of exposure. Food intended for children should have the best health-promoting value and contain as few toxic elements as possible.

The aim of the research was to assess the safety in terms of the content of toxic elements and antioxidant properties of selected foods consumed by children. The research material consisted of a total of 398 samples of ready-made food consumed by children (children's lunches, porridges, fruit and vegetable mousses, snacks, drinks and dairy products). The 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging test was used to analyze the antioxidant activity and the Folin-Ciocalteu method was used to determine the total phenolic content (TPC). In order to prepare samples for the assessment of the element content, the products were homogenized and microwave mineralization was carried out in a closed system. Atomic absorption spectrometry (AAS) was used to assess the concentration of Cu and Zn. Se determination was performed using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). It was assessed to what extent the consumption of the tested products meets the EAR standard (P.3). Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) was used to assess the concentration of As, Cd, and Pb. The Hg content was determined using the AAS method using the amalgamation technique. Using toxicological indicators, the safety of children's food consumption was assessed in terms of exposure to toxic elements (P.1, P.2).

Baby food has been found to have antioxidant properties. Fruit and vegetable purees contained the highest average phenolic content (TPC) as well as the highest percentage of free radical scavenging in the DPPH test. Dairy products for children were characterized by the highest average content of Cu and Se, and cereals for children contained the highest amount of Zn. Significantly higher Zn concentrations were recorded in organic food for children compared to traditional food (P.3). The highest concentration of As was recorded in wafers and crisps for children. In the case of Cd, these were fish-based meals for children. Poultry-based meals contained the most Pb, and the highest concentration of Hg was found in dairy products. There were no exceedances of toxicological parameters (P.2).

Food ready for consumption by children is characterized by antioxidant properties and is a source of antioxidant elements. In most cases, organic food for children does not differ from traditional food in terms of antioxidant properties. Children's products may be contaminated with toxic elements, but most do not pose a health risk. However, some products exceeded the Pb and Hg limits. The obtained results indicate that there is a need to monitor the content of toxic elements in finished products intended for children.

# 10. Assessment of the Risk of Contamination of Food for Infants and Toddlers



Review

## Assessment of the Risk of Contamination of Food for Infants and Toddlers

Anita Mielech , Anna Puścion-Jakubik \* and Katarzyna Socha

Department of Bromatology, Faculty of Pharmacy with the Division of Laboratory Medicine, Medical University of Białystok, Mickiewicza 2D Street, 15-222 Białystok, Poland; anita.mielech@umb.edu.pl (A.M.); katarzyna.socha@umb.edu.pl (K.S.)

\* Correspondence: anna.puscion-jakubik@umb.edu.pl; Tel.: +48-8574-854-69

**Abstract:** Infants and toddlers are highly sensitive to contaminants in food. Chronic exposure can lead to developmental delays, disorders of the nervous, urinary and immune systems, and to cardiovascular disease. A literature review was conducted mainly in PubMed, Google Scholar and Scopus databases, and took into consideration papers published from October 2020 to March 2021. We focused on contaminant content, intake estimates, and exposure to contaminants most commonly found in foods consumed by infants and children aged 0.5–3 years. In the review, we included 83 publications with full access. Contaminants that pose a high health risk are toxic elements, acrylamide, bisphenol, and pesticide residues. Minor pollutants include: dioxins, mycotoxins, nitrates and nitrites, and polycyclic aromatic hydrocarbons. In order to reduce the negative health effects of food contamination, it seems reasonable to educate parents to limit foods that are potentially dangerous for infants and young children. An appropriate varied diet, selected cooking techniques, and proper food preparation can increase the likelihood that the foods children consume are safe for their health. It is necessary to monitor food contamination, adhere to high standards at every stage of production, and improve the quality of food for children.

**Keywords:** baby food; food contaminant; food safety



**Citation:** Mielech, A.; Puścion-Jakubik, A.; Socha, K. Assessment of the Risk of Contamination of Food for Infants and Toddlers. *Nutrients* **2021**, *13*, 2358. <https://doi.org/10.3390/nu13072358>

Academic Editor: Veronica Luque Moreno

Received: 25 April 2021

Accepted: 6 July 2021

Published: 9 July 2021

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### 1. Introduction

Infants and young children are particularly vulnerable to contaminants in food because of the physiological characteristics that distinguish them from adults. Exposure to potentially toxic substances is especially dangerous because of infants' and young children's higher food intake (per kilogram of body weight—kg/bw), higher ventilation (kg/bw), and greater body surface area (kg/bw). Infants and toddlers have higher resting metabolic rates, which also contributes to greater sensitivity to toxins [1].

Non-food factors can also be a source of some contaminants such as toxic elements, which in the case of lead (Pb) can account for up to 61% of the total intake. Most gastrointestinal functions develop by the first year of life, but intestinal motility remains slow, intestinal transit time is prolonged and the small intestine is incompletely developed, therefore absorption of toxic elements is higher compared to adults. The urinary and biliary systems also mature in the first year of life, while the mechanisms responsible for filtering and elimination of chemicals are not fully developed. In young children, the rate of gastric emptying is higher than in adults, resulting in more rapid absorption and higher peak serum concentrations [2]. Infants and young children are particularly susceptible to food contamination due to the high sensitivity of their digestive tract, and therefore intake limits for toxic substances should not be exceeded. Characteristics of contamination levels with selected compounds that are safe for infants and young children are presented in Table 1.

**Table 1.** Characteristics of safe levels of contaminant intake for infants and toddlers [3–8].

Type of Contamination	Safe Contamination Levels
Acrylamide	RfD = 2 µg/kg/bw
Arsenic	PTWI = 15 µg/kg/bw
Bisphenol A	TDI = 50 µg/kg/bw
Cadmium	MTD = 4.1 µg/day, PTWI = 7 µg/kg/bw
Dioxins	TDI = 4 µg/kg/bw, TWI = 2 pg/kg/bw
Furan	ADI = 2 µg/kg/bw, RfD = 1 µg/kg/bw
Lead	MTD = 0.5 µg/day, PTWI = 25 µg/kg/bw
Mercury	PTWI = 1.6 µg/kg/bw
Mycotoxins	MCL <sub>afatoxins</sub> = 50 ng/kg/bw
Nitrates, nitrites	ADI <sub>total</sub> = 0–3.7mg/kg/bw
Residue pesticides	MRL = 0.1 mg/kg/bw

ADI—Acceptable Daily Intake, bw—body weight, MCL—Maximum Consented Limit, MRL—Maximum Residue Limits, MTD—Maximum Tolerated Dose, PTWI—Provisional Tolerable Weekly Intake, RfD—Reference dose, TDI—Tolerable Daily Intake, TWI—Tolerable Weekly Intake.

Food for children should be a source of nutrients, vitamins, and minerals. It should also be free from contaminants that may adversely affect their health and development. Therefore, the aim of the study was to review the literature on selected contaminants in food intended for infants and young children and to assess the risk of its consumption.

## 2. Materials and Methods

This publication reviews research, published from 2004 to 2021, on risk assessment of food contaminants in infant and young child products. We focused on analysis of studies that considered such aspects as contaminant content, estimation of intake, and exposure to contaminants most frequently found in food consumed by children aged 0.5–3 years. We made a preliminary selection by searching the PubMed database and Google Scholar under the headings ‘food safety’, ‘food contamination’, and ‘environmental contaminants’. On this basis, the most common contaminants in baby food were selected for inclusion in this review.

The literature review was mainly conducted in the PubMed database, as well as Google Scholar and Scopus, from October 2020 to March 2021. Studies with the largest numbers of trials were selected for consideration. The database was searched for ‘contamination’, ‘baby food’, ‘infant formula’, ‘toxic elements’, ‘dioxins’, ‘acrylamide’, ‘bisphenol’, ‘furan’, ‘mycotoxins’, ‘nitrates’, ‘polycyclic aromatic hydrocarbon’, ‘pesticides’, ‘3-MCPD’, ‘glycidyl esters’, and ‘mineral oil hydrocarbons’. The full texts of the selected papers were analyzed to assess whether they met the accepted criteria. Publications available in a language other than English were excluded.

The reference list of each article was searched to ensure that no important research articles were missed. Included clinical trials provide the latest evidence on food safety for infants and toddlers. No systematic review was undertaken, because this topic involves too many different groups of food contaminants.

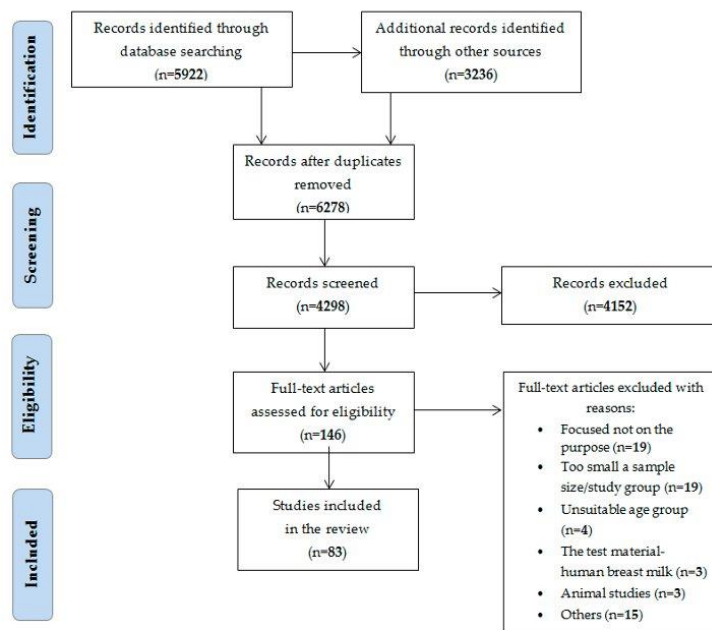
This review discarded studies that involved animal measurements of contaminant concentrations, prenatal exposure, adult exposure to dietary contaminants, and contaminant-exposed sick children. Research that analyzed conventional and infant foods as one group or estimated the risk of exposure to contaminants on the basis of a dietary record were also excluded. Other reasons for exclusion were: age group (under 6 months, over 3 years old), insufficient sample/study size, lack of full access, the study being a literature review, failure to specify products for children, inappropriate study material (e.g., human milk). Studies that did not serve the purpose of this review were also rejected.

## 3. Results

This paper presents the most important publications describing the current state of knowledge on risk assessment of contaminants in food for infants and toddlers.



This review summarizes scientific evidence from the past 17 years. A total of 6278 studies were identified, 2880 duplicates were removed, 4298 related titles were chosen. Of these, full access was given to 146 publications, but 63 articles met the exclusion criteria, and 83 studies were eventually included in this review. More information about the search and selection process of studies is shown in Figure 1—based on Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines, with own modifications.



**Figure 1.** Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) flow diagram for studies retrieved through the searching and selection process with its own modifications.

### 3.1. Toxic Elements

A study by Igweze et al. (2020) found that 96% of infant formulas exceeded the daily allowable concentration of Pb (0.4 mg/kg) and 53% exceeded the maximum Cd (cadmium) concentration (0.1 mg/kg), as per the Food and Drug Administration (FDA) standards [9]. Another study also reported Pb contamination in 37% of samples and Cd contamination in 57% of infant food samples. There was no significant difference in toxic element content between organic and conventional cultivation systems. Rice-based products contained significantly more Pb and Cd [10]. Some authors only detected Pb in individual samples [11,12]. In a Brazilian study evaluating Pb and Cd concentrations in infant formulas (formulas for particular nutritional uses for infants and breast milk substitutes), the median Pb concentration was 0.109 mg/kg, exceeding the maximum standard set by the Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization (FAO/WHO) (0.02 mg/kg). In addition, Pb concentrations in 7 infant formulas and 22 milk samples exceeded the Brazilian standard (0.2 mg/kg in infant formula and 0.05 mg/kg in milk) [13].

In another study, Cd was detected in 65% of the samples, of which the highest amounts were found in potatoes, cookie cereal bars, vegetables, and bread. Additionally, 2.5% of children aged 3 years and under exceeded the TWI for Cd [14].

In contrast, a study by Gao et al. (2020) found no exceedance of Cd intake standards in snacks consumed by children aged 1–6 years. The estimated daily intake did not exceed the tolerable daily intake (maximum tolerable daily intake (MTDI) = 46 mg/d). Among the studied snacks, the most Cd was observed in flour products (37% of total Cd delivery from snacks) [15].

In a study analyzing Hg (mercury) content in 291 children’s products, none of the samples exceeded the maximum allowable concentration. Hg was detected in prepared fish- and meat-based products (maximum concentration of 7.4 µg/kg), in dairy desserts, cereal products and in one infant formula [16]. In contrast, in another study, fish products exceeded the maximum residue limits (MRL) for Hg (0.5–1.0 mg/kg) in as many as 66% of all samples [17].

A study evaluating long-term exposure of children under 6 years to toxic elements reported that Pb exposure exceeded the reference value (RfT = 0.5 µg/kg bw) among 35% of children, 42% of children exceeded the TWI of Cd, but Hg exposure was below the TWI. The main sources of Pb exposure were dairy products and vegetables, while in the case of Cd and Hg, it was cereal products, fish, and shellfish [18]. Two of the analyzed studies also contain evidence to suggest that infant formulas are safe in terms of Pb content [19,20].

A study evaluating arsenic (As) in infant foods found that 75% of samples were contaminated with inorganic As. The highest concentrations of As were found in rice noodles, whole grain rice, and crackers [21]. High As contamination was also reported by Rotenberg et al. (2017) and Ljung (2011) [22,23].

Another study evaluated the contents of As, Cd, Hg, and Pb in infant foods. None of the products contained amounts of As which would pose a health risk. Oatmeal had the highest concentration of Cd (1.02 µg/g), and fish had the highest concentrations of As and Hg (1.02 µg/g, 6 µg/g, respectively) [24].

A summary of the studies on the concentration of toxic elements is shown in Table 2.

Table 2. Summary of studies on the safety of nitrates and nitrites in food for babies.

Type of Contamination	Number of Samples	Type of Food Sample	Results	Country [Reference]
<b>CONTAMINANT CONTENT</b>				
Nitrites, nitrates	1319	<sup>b</sup> Commercial food for toddlers, <sup>c</sup> commercial food	ADI of nitrite was exceeded in 16% of infant and 58% of toddler food samples	France [67]
Nitrites, nitrates, N-nitrosoamines	315	<sup>b</sup> Commercial food for toddlers (meat)	ADI of nitrite was exceeded in 40% and 29% of child food samples at different times	Estonia [68]
Nitrites, nitrates	157	<sup>b</sup> Commercial food for toddlers (meat)	ADI of nitrite was exceeded in 3% of child food samples	Estonia [66]
Nitrates, nitrites	108	<sup>a</sup> Infant food, <sup>c</sup> commercial food (vegetable, fruit, cereals and milk based)	Average nitrite content in the upper limit of the standard	Fiji [65]
<b>ESTIMATION OF INTAKE</b>				
Nitrates	1150	<sup>b</sup> Commercial food for toddlers (vegetable based), vegetables	No exceedance of the maximum permissible dose	Spain [62]
Nitrites, nitrates	104	<sup>a</sup> Infant food, <sup>c</sup> commercial food	No exceedance of the maximum permissible dose	Italy [63]
Nitrates	80	<sup>a</sup> Infant food (vegetable based)	Only 1 sample exceeded the ADI	Portugal [61]
Nitrates	39	<sup>a</sup> Infant food (vegetable, meat- based)	No exceedance of the maximum permissible dose	Portugal [64]

ADI—Acceptable Daily Intake, <sup>a</sup> Infant food—products intended for infants up to 12 months of age as complementary foods (cereals, desserts, mousses, wafers, etc.); all solid and liquid foods other than breast milk and infant formula for infants, <sup>b</sup> Commercial food for toddlers—snacks intended for children aged 12 to 36 months, <sup>c</sup> Commercial food—food products intended for consumption by all age groups.



### 3.2. Acrylamide

Abt et al. (2019) evaluated infant dietary exposure to acrylamide. Products intended for infants up to 12 months (e.g., snacks) had higher levels of acrylamide than jarred infant foods, suggesting the need to intensify acrylamide reduction processes during food production. The highest concentrations of acrylamide were observed in baby potato crisps, crackers, and breakfast cereals, i.e., complementary foods for infants and toddlers. The mean estimated intake of acrylamide for ages up to 2 years was 0.42 µg/kg bw/day [25]. A large sample size study (n = 2517) showed that the estimated dietary intake (EDI = 2 µg/kg body weight/day) was exceeded among 7% of children aged 12–36 months. Acrylamide was identified as a potential hazard so reduction of this substance during processing is of utmost importance (Margin of Exposure – MOE < 10,000) [26].

In a study by Lambert et al. (2018), acrylamide was detected in 113 samples (80%) and its mean concentrations varied from 0.14 to 102.00 µg/kg. The highest value of acrylamide was found in infant cookies (99.5 µg/kg), potatoes with carrots (67.0 µg/kg), and potatoes with pumpkin (67.0 µg/kg) [27]. Elias et al. (2017) detected the highest concentrations of the substance in potato and cereal snacks. Above-limit concentrations of acrylamide were found primarily in plant-based infant foods. The mean value of acrylamide was 30–65 µg/kg. High amounts of acrylamide in infant products entail serious health risks (MOE < 10,000) [28]. In a study by Mojska et al. (2021), the average exposure of infants aged 6–12 months to this contaminant ranged from 2.1 to 4.3 µg/kg bw/day, which exceeds the reference values. In addition, it was reported that the main sources of acrylamide were jarred baby meals (56.7%) and follow-on infant formulas [29].

A summary of the studies on the concentration of acrylamide is presented in Table 3.

**Table 3.** Summary of studies on the safety of acrylamide in foods for babies.

Type of Contamination	Number of Samples	Type of Food Sample	Results	Country [Reference]
<b>CONTAMINANT CONTENT</b>				
Acrylamide	141	<sup>a</sup> Infant food, <sup>c</sup> commercial food	7% exceeded the RfD	France [26]
	141	<sup>a</sup> Infant food, <sup>b</sup> commercial food for toddlers	Detected in 80% of samples, exceeded the RfD	France [27]
	70	<sup>a</sup> Infant food, <sup>c</sup> commercial food	Exceedance of RfD in baby food	Estonia [28]
<b>ESTIMATION OF INTAKE</b>				
Acrylamide	2517	<sup>a</sup> Infant food and <sup>c</sup> commercial food	Exposure of children twice as high as that of adults	USA [25]
	111	<sup>a</sup> Infant food	Average intake by infants and children exceeded RfD	Poland [29]

RfD—Reference Dose, <sup>a</sup> Infant food—products intended for infants up to 12 months of age as complementary foods (cereals, desserts, mousses, wafers, etc.); all solid and liquid foods other than breast milk and infant formula for infants, <sup>b</sup> Commercial food for toddlers—snacks intended for children aged 12 to 36 months, <sup>c</sup> Commercial food—food products intended for consumption by all age groups.

### 3.3. Bisphenol

In a study by Cao et al. (2009), bisphenol content was determined in 122 infant products packaged in jars and metal lids. Bisphenol was detected in 99 products, but its mean concentrations were mostly low (0.54–1.1 ng/g) [30]. In another study, bisphenol was detected in 38% of infant formula samples (mean concentration: 0.26 µg/L) and in 76% of breast milk samples (mean concentration: 1.3 µg/L) [31]. In Cirillo et al. (2015), bisphenol was found in 60% of baby foods and its mean concentration was 0.021 µg/g. Both liquid and powdered products had similar bisphenol contents, suggesting that the substance came from manufacturing processes rather than food packaging [32]. In a study by Niu et al.

(2007), bisphenol was detected in 36% of samples. Mean bisphenol exposure among infants up to 12 months of age exceeded the tolerable daily intake (TDI, 5–17 µg/kg bw/day). No exceedances of the TDI were reported among adults, confirming the higher risk of exposure among children [33]. Karsauliyta et al. (2021) studied the concentration of bisphenol analogues in infant formulas for 0- to 12-month-olds, in which they found exceedances to bisphenol [34]. The opposite result was obtained by Sun et al. (2017), who did not detect bisphenol in any of the analyzed 76 baby food samples [35].

A summary of the studies on the concentration of bisphenol A can be found in Table 4.

**Table 4.** Summary of studies on the safety of bisphenol A in baby foods.

Type of Contamination	Number of Samples	Type of Food Sample	Results	Country [Reference]
<b>CONTAMINANT CONTENT</b>				
Bisphenol A	154	<sup>b</sup> Commercial food for toddlers, <sup>d</sup> commercial food	Detected in 36% of infant food samples, no TDI exceeded	China [33]
	122	<sup>a</sup> Jarred infant food	Detected in 81% of samples, no MDL exceeded	Canada [30]
	103	Human milk and <sup>c</sup> infant formula	Detected in 38% of infant food samples, no RfD exceeded	Spain [31]
	76	<sup>c</sup> Infant formula	None detected	China [35]
	68	<sup>c</sup> Infant formula	No bisphenol exceedances, no RfD exceeded	India [34]
	50	<sup>c</sup> Infant formula	Detected in 60% of infant formula samples	Italy [32]

RfD—Reference Dose, TDI—Tolerable Daily Intake, <sup>a</sup> Infant food—products intended for infants up to 12 months of age as complementary foods (cereals, desserts, mousses, wafers, etc.); all solid and liquid foods other than breast milk and infant formula for infants, <sup>b</sup> Commercial food for toddlers—snacks intended for children aged 12 to 36 months, <sup>c</sup> Infant formula—food products intended for special dietary use solely for infants under 12 months of age as replacement human milk, <sup>d</sup> Commercial food—food products intended for consumption by all age groups.

### 3.4. Dioxins

In a study by Saito et al. (2008), the dioxin content of infant food was evaluated. It was observed that the intake of dioxins in food was safe [36]. Lorán et al. (2010) concluded that dioxins in baby foods (cereal products, meat dishes, fish dishes) did not pose a health risk to infants [37]. Sasamoto et al. (2006) assessed that the main sources of dioxin were ready-made infant products and breast milk. The intake in all study groups (infants and young children from 5 to 15 months of age) was lower than the TDI (4 pg/kg/day) [38]. Similar observations were noted in other studies [39,40]. In Hulin et al. (2020), the dioxin content of traditional foods was higher than that of infant foods. In addition, the TDI was exceeded among children older than 6 months of age (exceedance of the TDI was 4.5% among children of 7–12 months and 5.1 to 7.4% among children of 13–36 months of age). It was estimated that approximately 96% of the food consumed by children contributed to dioxin exposure [41]. Research published by authors from Italy showed that children could safely consume the products under investigation [42].

A summary of the studies on the concentration of dioxins is shown in Table 5.

Table 5. Summary of studies on the safety of dioxins in food for babies.

Type of Contamination	Number of Samples	Type of Food Sample	Results	Country [Reference]
<b>CONTAMINANT CONTENT</b>				
Dioxins	163	Commercial food, human milk, infant formula	No exceedance of the upper limit of the standard	Greece [40]
<b>ESTIMATION OF INTAKE</b>				
Dioxins	180	<sup>a</sup> Infant food, <sup>b</sup> commercial food for toddlers	TDI exceeded in children of 7–12 months by 4.5%, in 13–36-month-olds by 5.1–7.4%	France [41]
	63	<sup>a</sup> Infant food, <sup>b</sup> commercial food for toddlers	Consumption is below the TWI	Italy [42]
	60	<sup>a</sup> Infant food, <sup>c</sup> infant formula	No exceedance of the TDI in baby food	Germany [39]
	16	<sup>a</sup> Infant food	No exceedance of the TDI in baby food	Spain [37]

TDI—Tolerable Daily Intake, TWI—Tolerable Weekly Intake, <sup>a</sup> Infant food—products intended for infants up to 12 months of age as complementary foods (cereals, desserts, mousses, wafers, etc.); all solid and liquid foods other than breast milk and infant formula for infants, <sup>b</sup> Commercial food for toddlers—snacks intended for children aged 12 to 36 months, <sup>c</sup> Infant formula—food products intended for special dietary use solely for infants under 12 months of age as replacement human milk.

### 3.5. Furan

A study by Lambert et al. (2018) assessed furan content in samples of food for infants and children under 3 years of age. Furan was detected in 113 samples, with the highest amounts in spinach (95 µg/kg), carrots, and ham (73 µg/kg) [43]. In another study, it was observed that heating in a microwave oven reduced furan content to 35%, while using a water bath reduced it to 53%. The highest amounts of furan were found in meat-based products (7.9–61.0 ng/g) and fish (19.0–84.0 ng/g) [44]. A significantly higher estimated daily intake of furan by infants (0.333 µg/kg) than by adults (0.093 µg/kg) was also observed. This is particularly worrisome since ready-made infant products are often a staple food during this period of life [45]. Similar results were obtained by Scholl et al. (2013), who also showed that infants had a significantly higher risk of furan exposure than adults [46]. In another paper, it was shown that the estimated dietary intake of furan among infants ranged from 0.03 to 3.56 µg/kg and exceeded the RfD reference standard (0.1 µg/kg) [47]. Liu demonstrated that the average concentration of furan in infant formulas ranged from 2.4 to 28.7 ng/g, making infant products potentially hazardous to children's health [48].

Lachenmeier et al. (2009) estimated that the mean furan exposure among infants was 0.2 µg per kg body weight a day, which is not a health risk. In addition, it was shown that in contrast to jarred infant foods, none of the home-prepared foods contained furan [49].

A summary of the studies on the concentration of furan can be found in Table 6.



**Table 6.** Summary of studies on the safety of furan in food for babies.

Type of Contamination	Number of Samples	Type of Food Sample	Results	Country [Reference]
<b>CONTAMINANT CONTENT</b>				
Furan	134	<sup>a</sup> Infant food, <sup>b</sup> commercial food for toddlers	Furan found in 84% of samples	France [43]
	101	<sup>b</sup> Commercial food for toddlers	Contamination of 12% of samples	Taiwan [48]
<b>ESTIMATION OF INTAKE</b>				
Furan	301	<sup>a</sup> Infant food	EDI exceeded reference dose	Poland [47]
	191	<sup>b</sup> Commercial food for toddlers, <sup>c</sup> commercial food	EDI about 3 times higher among infants than adults	China [45]
	78	<sup>a</sup> Infant food, <sup>b</sup> commercial food for toddlers	EDI 3.8 times higher among infants than adults	Belgium [46]
<b>EXPOSURE</b>				
Furan	230	<sup>a</sup> Infant food, <sup>b</sup> commercial food for toddlers	Medium exposure is not a health risk	Germany [49]
	76	<sup>a</sup> Infant food, <sup>b</sup> commercial food for toddlers	Meat- and fish-based products potential risk for children	Spain [44]

EDI—Estimated Daily Intake, <sup>a</sup> Infant food—products intended for infants up to 12 months of age as complementary foods (cereals, desserts, mousses, wafers, etc.); all solid and liquid foods other than breast milk and infant formula for infants, <sup>b</sup> Commercial food for toddlers—snacks intended for children aged 12 to 36 months, <sup>c</sup> Commercial food—food products intended for consumption by all age groups.

### 3.6. Mycotoxins

In a study by Mallmann et al. (2020), mycotoxins were detected in 31% of cereal product samples and in 19% of infant cereal porridge samples. In addition, co-occurrence of 2 or more mycotoxins was found in 31% of cereals and 19% of infant cereals. The most frequently detected mycotoxins were fumonisins (26.7%) and zearalenone (14.8%) [50]. Saleh et al. (2019) evaluated patulin content in apple-based products for children. Estimated daily intake did not exceed the maximum TDI, i.e., 0.4 µg/kg bw/day. The most exposed group were children under 6 years of age [51]. In contrast, another study detected aflatoxins in 20% of the samples (aflatoxin B1), of which 10% exceeded the maximum tolerable concentration (0.1 µg/kg). There were no differences between whole grain products and refined cereal products, while organic cereal products contained higher concentrations of deoxynivalenol than conventional products [52]. In a study by Postupolski et al. (2019), none of the 302 samples of cereal products for children exceeded the TDI. For medium exposure, the values were up to 3%, while for high exposure, up to 10% of the reference values (mainly deoxynivalenol and fumonisins) [53]. In another study, ochratoxins were found in 41% of cereal products for children, the average level being  $0.42 \pm 0.27$  µg/kg. It was observed that 7.8% of the samples exceeded the highest permissible ochratoxin concentration recommended by the European Commission (0.5 µg/kg). The highest ochratoxin contamination was found in rice-based infant products (57%), wheat (23%), and multi-grain products (20%) [54]. In another study, aflatoxin and fumonisin contamination concerned 42% of all cereal- and nut-based products. Mycotoxin exposure exceeded reference values, indicating a health risk to infants and young children [55]. In another study, 85% of the analyzed infant formula samples exceeded the maximum tolerance limit (MTL) [56]. In Sundheim et al. (2017), the highest concentration of deoxynivalenol (DON) mycotoxin was observed among children aged 2 years, which was associated with high consumption of cereal products. The average exposure was twice the TDI [57].

There are also studies which indicate that the risk from mycotoxins in infant formulas is negligible [58–60]. In conclusion, contamination is rare and cereal products for infants and young children appear to be safe.

A summary of the studies on the concentration of mycotoxins is presented in Table 7.

**Table 7.** Summary of studies on the safety of mycotoxins in food for babies.

Type of Contamination (Number of Mycotoxins Tested)	Number of Samples	Type of Food Sample	Results	Country [Reference]
<b>CONTAMINANT CONTENT</b>				
Mycotoxins	1207	<sup>c</sup> Infant formula, milk	Only 1% of samples exceeded the norm	China [60]
Mycotoxins (14)	215	<sup>a</sup> Infant food (cereal products)	Contamination of 31% of cereals, 19% of baby cereals; norms were exceeded	Brazil [51]
Mycotoxins (1: aflatoxin M1)	185	<sup>a</sup> Infant food (dairy products), <sup>c</sup> infant formula	85% of infant formula samples exceeded the MCL	Jordan [54]
Mycotoxins (5)	137	<sup>a</sup> Infant food (cereal and nuts products)	Contamination of 42% of baby food samples	Nigeria [56]
Mycotoxins (1: aflatoxin M1)	101	<sup>a</sup> Infant food (dairy products), <sup>c</sup> infant formula	1 sample of infant formula contaminated	Serbia [59]
Mycotoxins (1: aflatoxin M1)	84	<sup>c</sup> Infant formula	Contamination of 3% of samples, norms were not exceeded	Turkey [58]
Mycotoxins (1: ochratoxin A)	64	<sup>a</sup> Infant food (cereal products)	Contamination of 41% of cereal samples	Iran [55]
Mycotoxins (5)	60	<sup>a</sup> Infant food (cereal products)	Contamination of 20% of cereal samples, of which 10% exceeded maximum level	Spain [52]
<b>ESTIMATION OF INTAKE</b>				
Mycotoxin (1: Deoxynivalenol)	3309	<sup>a</sup> Infant food, <sup>c</sup> infant formula, milk	Average exposure twice as high as TDI	Norway [57]
Mycotoxins (1: patulin)	610	<sup>b</sup> Commercial food for toddlers (apple-based products)	No exceedances of PMTDI standards	Qatar [50]
Mycotoxins (5)	302	<sup>a</sup> Infant food and <sup>b</sup> commercial food for toddlers (cereal products)	No exceedances of TDI standards	Poland [53]

MCL—Maximum Contaminant Level, PMTDI—Provisional Maximum Tolerable Daily Intake, TDI—Tolerable Daily Intake, <sup>a</sup> Infant food—products intended for infants up to 12 months of age as complementary foods (cereals, desserts, mousses, wafers, etc.); all solid and liquid foods other than breast milk and infant formula for infants, <sup>b</sup> Commercial food for toddlers—snacks intended for children aged 12 to 36 months, <sup>c</sup> Infant formula—food products intended for special dietary use solely for infants under 12 months of age as replacement human milk.

### 3.7. Nitrates and Nitrites

A study by Vasco et al. (2011) analyzed the nitrate content of foods for children (processed vegetables, fruit, juices) from organic and conventional farming. Only one sample exceeded the acceptable daily intake. Additionally, no differences were noted between nitrate concentrations in foods obtained using different farming methods [61]. In another large study (n = 1150), none of the infant products analyzed exceeded the

maximum acceptable nitrate level. The estimated daily intake of nitrates by infants and children over 1 year of age was 13% and 18% of the ADI, respectively [62].

On the other hand, in a study by Cortesi et al. (2014), no exceedance of the maximum allowable nitrate concentration (200 mg/kg bw) was recorded in the analyzed samples [63]. Similar observations were also made by other researchers [64]. Another study reported single exceedances of the maximum allowable nitrate concentration in vegetable preparations for this age group, with the mean nitrate concentration equal to the upper limit of the standard (189 mg/kg bw) [65]. In a study by Elias et al. (2020), where the source of nitrates and nitrites were the most common processed meat products, the exceedance of ADI was reported in 3% of children [66]. Mancini et al. (2014) showed significant exceedances of the ADI of nitrite content in food for children of 7–12 months and 13–36 months by 16% and 58%, respectively. Meat was the main source of high nitrite concentrations. Considering the whole study population, the average intake of nitrites was lower than the ADI, confirming the fact that infants and children are the group that is most exposed to nitrites in food [67]. Similar observations were noted for a smaller group of subjects [68].

A summary of the studies on the concentration of nitrates and nitrites is shown in Table 8.

**Table 8.** Summary of studies on the safety of nitrates and nitrites in food for babies.

Type of Contamination	Number of Samples	Type of Food Sample	Results	Country [Reference]
<b>CONTAMINANT CONTENT</b>				
Nitrites, nitrates	1319	<sup>b</sup> Commercial food for toddlers, <sup>c</sup> commercial food	ADI of nitrite was exceeded in 16% of infant and 58% of toddler food samples	France [67]
Nitrites, nitrates, N-nitrosoamines	315	<sup>b</sup> Commercial food for toddlers (meat)	ADI of nitrite was exceeded in 40% and 29% of child food samples at different times	Estonia [68]
Nitrites, nitrates	157	<sup>b</sup> Commercial food for toddlers (meat)	ADI of nitrite was exceeded in 3% of child food samples	Estonia [66]
Nitrates, nitrites	108	<sup>a</sup> Infant food, <sup>c</sup> commercial food (vegetable, fruit, cereals and milk based)	Average nitrite content in the upper limit of the standard	Fiji [65]
<b>ESTIMATION OF INTAKE</b>				
Nitrates	1150	<sup>b</sup> Commercial food for toddlers (vegetable based), vegetables	No exceedance of the maximum permissible dose	Spain [62]
Nitrites, nitrates	104	<sup>a</sup> Infant food, <sup>c</sup> commercial food	No exceedance of the maximum permissible dose	Italy [63]
Nitrates	80	<sup>a</sup> Infant food (vegetable based)	Only 1 sample exceeded the ADI	Portugal [61]
Nitrates	39	<sup>a</sup> Infant food (vegetable, meat-based)	No exceedance of the maximum permissible dose	Portugal [64]

ADI—Acceptable Daily Intake, <sup>a</sup> Infant food—products intended for infants up to 12 months of age as complementary foods (cereals, desserts, mousses, wafers, etc.); all solid and liquid foods other than breast milk and infant formula for infants, <sup>b</sup> Commercial food for toddlers—snacks intended for children aged 12 to 36 months, <sup>c</sup> Commercial food—food products intended for consumption by all age groups.

### 3.8. Pesticide Residues

A study by Nougadere et al. (2020) evaluated pesticide content in foods for children under 3 years of age and in commercial foods. Pesticide residues were detected in 67% of samples (78 different pesticides). Among the most frequently detected were fungicides, 2-phenylphenol, boscalid, azoxystrobin, captan, and tetrahydrophthalimide [69]. Similar results were obtained by Stepan et al. (2005), who found pesticides in 60% of all analyzed



samples. In infant fruit foods, pesticide residues were found in 16% of samples, with maximum residue levels (0.01 mg/kg) exceeded in 9% of them. The most common pesticides were organophosphorus insecticides and fungicides, represented by phthalimides, dicarboximides, and sulphamides [70]. In a study by Jeong et al. (2014), at least 1 pesticide was detected in every sample. It was reported that the average concentration of organochlorine pesticides was 2 times higher in foods for 15-month-olds than in products for 6-month-olds [71]. In a study by Torović et al. (2020), pesticides were detected in 56% of infant food samples. In addition, more domestic products (85%) than imported products (38%) had high pesticide contents [72]. Kapoor et al. (2012) evaluated the content of imidacloprid, an alternative to organochlorine pesticides. Imidacloprid was found in 15% of the samples, of which 3% exceeded the MRL [73]. Gilbert-López et al. (2007) assessed the content of 12 pesticides in baby food containing fruit. The detection limit of the developed method ranged from 0.1 (imazalil) to 4 µg/kg (iprodione). Despite the fact that three pesticides (carbendazim, imazalil, and thianendazole) were detected in approximately 60% of the samples, none exceeded the limit of 0.01 mg/kg [74]. One more recent study, published by Panseri et al. (2020), found perchlorate in 10.5% of the baby food and commercial food samples the authors tested [75].

Table 9 summarizes the studies on pesticides in baby food.

**Table 9.** Summary of studies on the safety of pesticide residues in food for babies.

Type of Contamination (Number of Pesticides Tested)	Number of Samples	Type of Food Sample	Results	Country [Reference]
<b>CONTAMINANT CONTENT</b>				
Pesticides (86)	522	<sup>a</sup> Infant food (fruit based)	Detected in 60% of samples, 1.4% exceeded the MRL	Czech Republic [70]
Pesticides (516)	309	<sup>b</sup> Commercial food for toddlers, <sup>c</sup> commercial food	Detected in 67% of samples, exceeded the TRV	France [69]
Pesticides: (1: imidacloprid)	250	<sup>a</sup> Infant food, fruit, vegetables, cereal	Detected in 15% of samples, exceeded the MRL	India [72]
Pesticides (4: glyphosate, glufosinate, perchlorate, chlorate)	105	<sup>a</sup> Infant food, <sup>c</sup> commercial food	Perchlorate detected in 10.5% of samples	Italy [75]
Pesticides (18)	100	<sup>c</sup> Commercial food (homemade)	Detected in 100% of samples	Korea [71]
Pesticides (69)	54	<sup>a</sup> Infant food (juices, purees)	Detected in 56% of samples	Serbia [72]
Pesticides (12)	33	<sup>a</sup> Infant food (juices, multi-fruit jars)	Three pesticides detected in 60% of samples	Spain and United Kingdom [74]

TRV—toxicological reference value, <sup>a</sup> Infant food—products intended for infants up to 12 months of age as complementary foods (cereals, desserts, mousses, wafers, etc.); all solid and liquid foods other than breast milk and infant formula for infants, <sup>b</sup> Commercial food for toddlers—snacks intended for children aged 12 to 36 months, <sup>c</sup> Commercial food—food products intended for consumption by all age groups.

### 3.9. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH)

Dairy products showed higher PAH concentrations than meat- and fish-based products. In low-fat products (up to 3% fat), PAH concentrations were lower (19.4 µg/kg) than in products with higher fat content (43.3 µg/kg). PAH norms were exceeded in milk based products in 18.2% (benzopyrene) and 77.7% (ΣPAH4) of samples and also in meat- and fish-based products (5.6% and 44.4% respectively) [76]. Similar observations were made by Di Bella et al. (2020), where exceedances were reported in the PAH content of dairy

products: cow milk (mean content 12.56 ng/g), sheep and goat milk (9.2 ng/g), with a maximum concentration permitted for infants and young children of 1 ng/g. Concentrations of aromatic hydrocarbons in meat and fish products did not exceed maximum allowable levels [77]. In contrast, another study reported that children's intake levels of PAHs in conventional products were safe. The average PAH intake was 192 ng/day, while the maximum daily intake was 1575 ng/day [78]. A study by Badibostan et al. (2019) evaluated exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in infant and toddler formulas. The authors found that benzopyrene was present in 64.3% of samples, chrysene in three samples, and fluoranthene in one sample. One product had a concentration of 1.43 µg/kg and that sample exceeded the maximum tolerable limit MTL (1 µg/kg) [79]. On the other hand, some of the studies under review deemed baby products to be safe as regards PAH [80,81].

A summary of the studies on the concentration of PAH is included in Table 10.

**Table 10.** Summary of studies on the safety of PAH in food for babies.

Type of Contamination	Number of Samples	Type of food Samples	Results	Country [Reference]
<b>CONTAMINANT CONTENT</b>				
PAH	126	<sup>b</sup> Commercial food (meat, fish)	No exceedances in meat and fish, exceedances in dairy products	Italy [77]
	40	<sup>a</sup> Infant food, <sup>b</sup> commercial food (dairy products)	Exceedance in dairy samples 18.2%, meat and fish 5.6%	Italy [76]
<b>ESTIMATION OF INTAKE</b>				
PAH	322	<sup>b</sup> Commercial food (meat)	No exceedances in average PAH intake	Estonia [78]
	42	<sup>a</sup> Infant food	One sample exceeding MCL	Iran [79]
<b>EXPOSURE</b>				
PAH	152	<sup>c</sup> Infant formula	No exceedances (MOE > 10,000)	Korea [81]
	40	<sup>c</sup> Infant formula	No exceedances (MOE > 10,000)	Nigeria [80]

MCL—Maximum Consumed Limit, MOE—Margin of Exposure, PAH—polycyclic aromatic hydrocarbons, BaP—benzopyrene, ΣPAH4, sum of subgroup of four hydrocarbons, <sup>a</sup> Infant food—products intended for infants up to 12 months of age as complementary foods (cereals, desserts, mousses, wafers, etc.); all solid and liquid foods other than breast milk and infant formula for infants, <sup>b</sup> Commercial food—food products intended for consumption by all age groups, <sup>c</sup> Infant formula—food products which are represented for special dietary use solely for infants under 12 months of age as replacement human milk.

### 3.10. 3-Monochloropropane-1,2-Diol (3-MCPD) and Glycidyl Esters

Beekman et al. (2020) found higher concentrations of 3-MCPD than those of glycidyl esters in 23 samples (10%). Decreased concentrations of 3-MCPD (about seven-fold lower) and glycidyl esters (about three-fold lower) were noted during a 3-year follow-up, which may be due to the use of new technologies that reduce the risk of contamination. Additionally, higher concentrations of 3-MCPD and glycidyl esters were observed in powdered products than in ready-to-eat ones. Glycidyl is found in vegetable oils, but the highest amounts are found in palm oil [82]. Another study also confirmed lower concentrations of 3-MCPD and glycidyl esters compared to previous years [83]. In a study by Campi et al. (2020), the highest concentrations of 3-MCPD and glycidyl were observed in seed oil, margarine, and cookies. It was also reported that palm oil increased the concentration of MCPD and glycidyl esters in products [84].

Over 71% of diet and dairy product samples were contaminated with 3-MCPD and glycidyl esters. Estimated daily exposures to bound 3-MCPD (0.48–0.49 µg/kg/bw) and glycidyl esters (1.00–1.11 µg/kg/bw/day) did not exceed the limits and did not constitute



a health risk to children [85]. In another study, the TDI for 3-MCPD was exceeded in a group of children's snacks (mainly potato crisps, crackers, peanuts, and muesli) and the highest concentration was found in biscuits [86]. Interestingly, the authors from the US showed the lowest concentrations of 3-MCPD in products that contained palm oil [87].

A summary of the studies on the concentration of 3-MCPD and glycidyl esters is given in Table 11.

**Table 11.** Summary of studies on the safety of 3-MCPD and glycidyl esters in food for babies.

Type of Contamination	Number of Samples	Type of Food Sample	Results	Country [Reference]
<b>CONTAMINANT CONTENT</b>				
Glycidyl esters, 3-MCPD	275	<sup>a</sup> Infant food (homemade), <sup>c</sup> commercial food for toddlers	Over 71% of diet samples contaminated with 3-MCPD and glycidyl esters	China [85]
Glycidyl esters, 3-MCPD	222	<sup>a</sup> Infant food	Lower concentrations of 3-MCPD (7-fold) and glycidyl esters (3-fold) during 3 years	USA [82]
Glycidyl esters, 3-MCPD	130	<sup>a</sup> Infant food, <sup>c</sup> commercial food	Products containing palm oil had a higher concentration of 3-MCPD and glycidyl esters	Italy [84]
Glycidyl esters, 3-MCPD	96	<sup>a</sup> Infant food	Lowest concentrations in products containing palm oil	USA [87]
Glycidyl esters, 2-MCPD, 3-MCPD	77	<sup>a</sup> Infant food	2-MCPD detected in all samples	Germany [83]
<b>EXPOSURE</b>				
3-MCPD	60	<sup>c</sup> Commercial food for toddlers	Exceeded TDIs in potato chips, crackers, peanuts, muesli, and biscuits	Poland [86]

3-MCPD—3-monochloropropane-1,2-diol, 2-MCPD—2-monochloropropane-1,2-diol, TDI—the tolerable daily intake, <sup>a</sup> Infant food—products intended for infants up to 12 months of age as complementary foods (cereals, desserts, mousses, wafers, etc.); all solid and liquid foods other than breast milk and infant formula for infants, <sup>c</sup> Infant formula—food products which are represented for special dietary use solely for infants under 12 months of age as replacement human milk.

### 3.11. Mineral Oil Hydrocarbons (MOHs)

In a study by Sui et al. (2020), mineral oil hydrocarbons (MOHs) were detected in 17 of 61 samples, with the highest amounts reported in a goat milk-based infant formula [88]. In Zhang's (2019) study, MOHs were found in 66% of samples, mostly infant formulas [89]. In another study, MOHs were present in all analyzed samples that contained meat and fish. The highest concentration (2 mg/kg/bw) was recorded in a product containing salmon: it exceeded the MOH standard (maximum limit of 0.6 mg/kg/bw) [8]. Lei et al. (2019) observed the highest risk of MOH exposure among infants aged 0–6 months and 6–12 months. Additionally, MOH intake was higher among Europeans and lower among the Chinese, so food contamination with mineral oil hydrocarbons may constitute a health risk for infants from Europe [90].

Table 12 summarizes the studies of mineral oil hydrocarbons in baby food.

**Table 12.** Summary of studies on the safety of MOH in food for babies.

Type of Contamination	Number of Samples	Type of Food Sample	Results	Country [Reference]
<b>CONTAMINANT CONTENT</b>				
MOH	51	<sup>c</sup> Infant formula	MOH detected in 33%	China [88]
	50	<sup>c</sup> Infant formula	MOH detected in 66%	China [89]
	16	<sup>a</sup> Infant food	MOH detected in all samples containing meat and fish	Italy [8]
<b>EXPOSURE</b>				
MOH	230	<sup>a</sup> Infant food, <sup>b</sup> commercial food for toddlers, <sup>c</sup> infant formula	Highest risk of MOH exposure among infants	China [90]

MOH—mineral oil hydrocarbons, <sup>a</sup> Infant food—products intended for infants up to 12 months of age as complementary foods (cereals, desserts, mousses, wafers, etc.); all solid and liquid foods other than breast milk and infant formula for infants, <sup>b</sup> Commercial food for toddlers—snacks intended for children aged 12 to 36 months, <sup>c</sup> Infant formula—food products which intended for special dietary use solely for infants under 12 months of age as replacement human milk.

#### 4. Discussion

Infants and young children are much more vulnerable to contaminants from food. When planning children's diets, it is important to pay attention not only to the quantity but also to the quality of food. Unfortunately, products that are potential sources of contaminants are often also desirable in a healthy diet. Contaminants in foods for infants and toddlers can cause adverse health effects, both in the short term and adulthood.

Exposure to Pb in infancy disrupts children's development by damaging the nervous system. Long-term exposure to this element, even below relatively safe doses, contributes to impaired concentration and attention, possibly affecting the intelligence quotient (IQ) [91]. Any amount of Pb in the body disrupts the nervous system. It has been shown that the higher the concentration of Pb in the blood, the more nervous system disorders develop in children [92]. High amounts of Pb can be found in meat, fish and seafood, grain products, vegetables, fruit, and dairy products [93].

Cadmium (Cd) features in the International Agency of Research on Cancer (IARC) list of carcinogenic contaminants. Cd damages the renal tubules, contributing to the dysfunction of the excretory system. In addition, it disturbs the acid-base balance and causes endocrine disruption. As in the case of Pb, there are suggestions that doses lower than the TWI (Tolerable Weekly Intake) may also have a neurotoxic effect in children [14]. The main sources of Cd in foods are grain products, rice-based products, vegetables, fish, and seafood [93]. Mercury (Hg) exposure among infants and young children has a neurotoxic impact through the deleterious effects of methylmercury. Short-term exposure to Hg may predispose individuals to cardiovascular disorders and contribute to immune system dysfunction. The main sources of Hg in food are seafood and fish, the highest amounts found in predatory fish [94]. Inorganic As has been classified as a carcinogen. Exposure to As causes skin diseases, nervous system diseases, neurodevelopmental disorders in children, and lung diseases. Long-term exposure can contribute to cardiovascular disease, type 2 diabetes, and cancerous processes. Dietary sources of As exposure include dairy products, rice, and foods for infants and young children [95]. As far as toxic elements in children's diets are concerned, special attention should be paid to products potentially contaminated with Pb and Cd, because they carry the greatest health risk. It is worth limiting the consumption of rice and rice products, as they are often contaminated with inorganic As. To exceed the maximum intake of As, a 3-year-old child must eat 242 g of rice cereal per day (6 portions of cereal) or 167 g of rice waffles, which is about 16.5 pieces [96].

Acrylamide is a carcinogenic compound that has been classified as a probable human carcinogen by the IARC. Acrylamide has potent neurotoxic, carcinogenic and genotoxic effects. It disrupts mitochondrial function, leading to cell apoptosis [97]. It also has a toxic influence on enzymatic mechanisms, hormonal balance, muscle function, and fertility. In the case of children, acrylamide mainly comes from heat-treated potatoes (french fries, potato chips, potato pancakes) [98]. Cereals and potato snacks can also be dangerous to this highly sensitive group, so it seems important that remedial steps are taken to reduce the content of acrylamide in infant products.

Bisphenol (BPA) is a substance which, with prolonged exposure, causes endocrine disruption in the body. It is also linked to heart disease, more frequent heart attacks, and ischemic heart disease. BPA exposure is especially dangerous among infants and young children. According to the European Food Safety Authority (EFSA), the TDI is 50 µg/kg/day, but endocrine disruption has been observed at exposures below the TDI [99]. BPA is another substance that may pose a health risk to infants and young children. Changes are needed at the production level to minimize exposure to this contaminant. To reduce bisphenol exposure in children's diets, more home-made foods than prepared baby foods must be consumed. Additionally, food manufacturers should implement bisphenol degradation procedures.

Dioxins are a group of organic compounds which, together with polychlorinated dibenzodioxins and polychlorinated biphenyls, constitute dioxin-like compounds. Dioxins are stored throughout the food chain in adipose tissue. The largest source of exposure, accounting for more than 90% of exposure, is food, mainly milk, eggs, and meat [39]. Dioxins can be found in breast milk and modified milk—much higher concentrations are observed in breast milk [100]. They cause endocrine disorders, dysfunctions of the central nervous system, fertility problems, and may also contribute to cancer [101]. Many developmental disorders observed in children, including hypotonia, neurodevelopmental and neurobehavioral disorders, lower IQ, hearing disorders, discoloration and dermatological abnormalities, changes in thyroid hormone levels, can be linked to dioxins [102]. As shown in the literature, commercial foods and infant formulas are safe for children in terms of dioxin contamination, as no average intake exceedances have been reported.

Furan has been classified by the IARC as possibly carcinogenic to humans (Group 2B). It is found in stored products that require heat treatment to produce, e.g., bread and pastries, coffee, jarred/canned products, and baby food. Self-prepared meals do not contain furan. Heating food in a closed system causes furan to store in canned and jarred foods. Because of its high volatility, open-system heated meals contain less furan. Furan causes liver damage, kidney damage, and carcinogenic effects [103]. It may be a cause of poorer health among infants and young children, because its estimated intake exceeded the standards in most studies. Practices such as heating food without a lid can greatly minimize this risk.

Mycotoxins are low molecular weight compounds found in cereals and vegetables and their preparations. The most common mycotoxins include: aflatoxins, ochratoxins, fumonisins, and zearalenone. Infants and young children are the most vulnerable to mycotoxins, because they consume large amounts of cereal products in relation to their body weight. Toxin exposure is associated with carcinogenic, nephrotoxic, neurotoxic, hepatotoxic, hormonal, teratogenic, and immunotoxic effects [103]. Mycotoxins cause developmental delay in infants, impaired immune response, gastrointestinal disorders, and also dysfunction in cognitive development. In older children, developmental delays, cognitive and neurological disorders, and learning difficulties are seen [102]. According to the literature, mycotoxin contamination is rare and therefore should not pose a health risk to children.

Sources of nitrate and nitrite in food include nitrogen fertilizer remains, preservative remains from processed foods, and nitrate naturally occurring in green plants as a nitrogen metabolite. Nitrates have no toxic effects, but can convert to nitrites when exposed to bacteria during storage or during digestive processes in the human body. In addition, nitrite reacts with hemoglobin causing oxidation to methemoglobin, which leads to methemoglobinemia in children. This is a dangerous condition for infants because their stomach



pH is higher than that of adults, which further facilitates the transformation of nitrates into nitrites. Infants have low expression of NADPH methemoglobin reductase, so the  $T_{1/2}$  (half-life) is longer than in adults [104,105]. Nitrates and nitrites affect cardiovascular and gastrointestinal homeostasis through nitrogen oxygen conversion. Most nitrates are found in vegetables, such as: beets, radishes, green leafy vegetables, and celery [106]. Meat and meat products, as well as vegetables and fruits present in baby products, are safe in terms of nitrates and nitrites.

Pesticides include dangerous agents such as organochlorine pesticides, as well as less harmful substances. Organochlorine compounds are characterized by a high ability to accumulate and a long half-life, which makes them very toxic to the human body [107]. The sources of human exposure to pesticides are meat, fish, dairy products, and drinking water. The use of certain agents, such as the organochlorine pesticide DDT, is restricted or banned in some countries. These toxins can cause acute or chronic health effects, e.g., neurodegenerative diseases, neurological disorders, pro-oncogenic processes, respiratory disorders, or cardiovascular dysfunctions. Exposure of infants and young children to pesticides can cause neuro-behavioral disorders [108]. Pesticide residues in food, present both in animal and plant products, are also a significant danger. The most effective method to reduce the consumption of pesticides in food is to soak vegetables in a solution of baking soda (10 g of baking soda and 1 L of water). Peeling fruits and vegetables, washing in water, refrigeration, blanching, pasteurization, and cooking are also recommended [109,110]. These methods should be applied not only by individual consumers but also by producers as part of good manufacturing practices. It seems appropriate to make it obligatory for manufacturers to control pesticide content in commercial products for children.

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are pollutants with genotoxic effects, possibly carcinogenic to humans. One of the best studied PAH compounds is benzopyrene, classified as group 1 by the IARC. Benzopyrene and  $\Sigma$ 4PAH (benzopyrene, chrysene, benzoanthracene, and benzo[*b*]fluoranthene) are used to determine PAH content in food products [77]. PAHs are not found in unprocessed food, but can be formed during food processing. Polycyclic aromatic hydrocarbons do not seem to constitute a health threat to infants and young children.

3-Monochloropropanol-1,2-diol (3-MCPD) esters and glycidyl esters are impurities that arise during the refining of cooking oils. Esters undergo hydrolysis processes in the gastrointestinal tract, releasing, among other things, 3-MCPD and glycidyl. 3-MCPD has been recognized as a possible human carcinogen by the IARC. Glycidyl has also been found to be a probable human carcinogen (B1), so it is recommended that its consumption should be as low as possible [82]. 3-MCPD and glycidyl esters may pose a risk, but with new technologies this problem is becoming less of a concern, as their concentrations are decreasing.

Mineral oil hydrocarbons (MOH) are a product of petroleum transformation. Contamination of food with MOH is caused by contaminants associated with food packaging, or contamination of plants and, consequently, vegetable oils [111]. Mineral oil hydrocarbons may cause a health hazard, so more research is needed.

Geographic variation of crops also influences food contamination levels. The content of toxic elements and pesticides is determined by the use of agrochemicals and the industrial activity of a region [112]. For example, the environment in which rice is grown affects the bioavailability of As found in it. Higher levels of As are reported in Bangladesh, China, Taiwan, Vietnam, and Thailand [113]. In the case of mycotoxins, the highest levels of pollution are recorded in certain regions of Africa and Southeast Asia, because of the conditions of tropical and subtropical climate [114]. In a study by Hossain et al. (2015), mycotoxin contamination was observed in North America and Asia, while samples from Europe were contamination-free [115]. High temperature is a major factor in mycotoxin contamination, therefore higher levels are observed in southern Europe than in northern Europe [116].

## 5. Conclusions

Dietary diversity in children may indirectly contribute to reducing the risk of exposure to contaminants. Contaminants that have been shown to be potentially dangerous, such as: toxic elements, acrylamide, bisphenol A, pesticides, and MOH, need to be closely monitored.

Children's meals should be as varied as possible, not based on only one food group (e.g., rice) in order not to exceed the doses of toxic elements. To minimize the risk of bisphenol exposure, home-cooked meals are recommended over convenience products for children.

It seems important to provide education for parents and children on how to limit products with potential health hazards and to promote appropriate cooking and preparation techniques that minimize negative health effects. Food safety monitoring should also be increased at the production stage by incorporating good production practices. There is an immediate need for prospective studies that can evaluate cohort-based exposure to contaminants in baby food in the context of the long-term health status of children.

**Author Contributions:** Conceptualization, K.S. and A.P.-J.; methodology, K.S.; software, A.M.; formal analysis, A.M., K.S. and A.P.-J.; investigation, A.M.; resources, A.M.; data curation, A.M. and A.P.-J.; writing—original draft preparation, A.M.; writing—review and editing, K.S. and A.P.-J.; visualization, A.M. and A.P.-J.; supervision, K.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Institutional Review Board Statement:** Not applicable.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** Detailed data are available from the authors.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

## References

1. Patriarca, M.; Menditto, A.; Rossi, B.; Lyon, T.D.; Fell, G.S. Environmental exposure to metals of newborns, infants and young children. *Microchem. J.* **2000**, *67*, 351–361. [\[CrossRef\]](#)
2. Makri, A.; Goveia, M.; Balbus, J.; Parkin, R. Children's susceptibility to chemicals: A review by developmental stage. *J. Toxicol. Environ. Health B* **2004**, *7*, 417–435. [\[CrossRef\]](#)
3. WHO. Assessment of the Health Risk of Dioxins: Re-Evaluation of the Tolerable Daily Intake (TDI); WHO European Centre for Environment and Health International Programme on Chemical Safety. Available online: [https://www.who.int/publications/m/item/assessment-of-the-health-risk-of-dioxins-re-evaluation-of-the-tolerable-daily-intake-\(tdi\)](https://www.who.int/publications/m/item/assessment-of-the-health-risk-of-dioxins-re-evaluation-of-the-tolerable-daily-intake-(tdi)) (accessed on 25 April 2021).
4. FAO. Safety Evaluation of Certain Contaminants in Food: Furan. *World Health Organ. Tech. Rep. Ser.* **2011**, *8*, 487–603.
5. JEFCA. *Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Nitrate*; JEFCA: Geneva, Switzerland, 2002.
6. Schechter, A.; Wallace, D.; Pavuk, M.; Piskac, A.; Pöpke, O. Dioxins in commercial United States baby food. *J. Toxicol. Environ. Health A* **2002**, *65*, 1937–1943. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
7. Feeley, M.; Brouwer, A. Health risks to infants from exposure to PCBs, PCDDs and PCDFs. *Food Addit. Contam.* **2000**, *17*, 325–333. [\[CrossRef\]](#)
8. Mondello, L.; Zoccali, M.; Purcaro, G.; Franchina, F.A.; Sciarrone, D.; Moret, S.; Conte, L.; Tranchida, P.Q. Determination of saturated-hydrocarbon contamination in baby foods by using on-line liquid-gas chromatography and off-line liquid chromatography-comprehensive gas chromatography combined with mass spectrometry. *J. Chromatogr. A* **2012**, *1259*, 221–226. [\[CrossRef\]](#)
9. Igweze, Z.N.; Ekhat, O.C.; Orisakwe, O.E. Lead and cadmium in infant milk and cereal based formulae marketed in Nigeria: A probabilistic non-carcinogenic human health risk assessment. *Rocz. Panstw. Zakl. Hig.* **2020**, *71*, 303–311.
10. Gardener, H.; Bowen, J.; Callan, S.P. Lead and cadmium contamination in a large sample of United States infant formulas and baby foods. *Sci. Total Environ.* **2019**, *651 Pt 1*, 822–827. [\[CrossRef\]](#)
11. Škrbić, B.; Živančev, J.; Jovanović, G.; Farre, M. Essential and toxic elements in commercial baby food on the Spanish and Serbian market. *Food Addit. Contam. Part B* **2016**, *10*, 27–38. [\[CrossRef\]](#)
12. Winiarska-Mieczan, A.; Kiczorowska, B. Determining the content of lead and cadmium in infant food from the Polish market. *Int. J. Food Sci. Nutr.* **2012**, *63*, 708–712. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
13. De Castro, C.S.; Arruda, A.F.; Da Cunha, L.R.; SouzaDe, J.R.; Braga, J.W.; Dórea, J.G. Toxic metals (Pb and Cd) and their respective antagonists (Ca and Zn) in infant formulas and milk marketed in Brasilia, Brazil. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* **2010**, *7*, 4062–4077. [\[CrossRef\]](#)



14. Iwegbue, C.M.; Nwozo, S.O.; Overah, L.C.; Nwajei, G.E. Survey of trace element composition of commercial infant formulas in the Nigerian market. *Food Addit. Contam. Part B* **2010**, *3*, 163–171. [[CrossRef](#)]
15. Gao, Y.; Li, X.; Dong, J.; Cao, Y.; Li, T.; Mielke, H.W. Snack foods and lead ingestion risks for school aged children: A comparative evaluation of potentially toxic metals and children's exposure response of blood lead, copper and zinc levels. *Chemosphere* **2020**, *261*, 127547. [[CrossRef](#)]
16. Guérin, T.; Chekri, R.; Chafey, C.; Testu, C.; Hulin, M.; Noël, L. Mercury in foods from the first French total diet study on infants and toddlers. *Food Chem.* **2018**, *239*, 920–925. [[CrossRef](#)]
17. Junqué, E.; Garí, M.; Arce, A.; Torrent, M.; Sunyer, J.; Grimalt, J. Integrated assessment of infant exposure to persistent organic pollutants and mercury via dietary intake in a central western Mediterranean site (Menorca Island). *Environ. Res.* **2017**, *156*, 714–724. [[CrossRef](#)]
18. Kim, D.W.; Woo, H.D.; Joo, J.; Park, K.S.; Oh, S.Y.; Kwon, H.J.; Park, J.D.; Hong, Y.S.; Sohn, S.J.; Yoon, H.J.; et al. Estimated long-term dietary exposure to lead, cadmium, and mercury in young Korean children. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2014**, *68*, 1322–1326. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
19. Dabeka, R.W.; McKenzie, A.D. Survey of total mercury in infant formulae and oral electrolytes sold in Canada. *Food Addit. Contam. Part B* **2012**, *5*, 65–69. [[CrossRef](#)]
20. Martins, C.; Vasco, E.; Paixão, E.; Alvim, P. Total mercury in infant food, occurrence and exposure assessment in Portugal. *Food Addit. Contam. Part B* **2013**, *6*, 151–157. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
21. Gu, Z.; de Silva, S.; Reichman, S.M. Arsenic concentrations and dietary exposure in rice-based infant food in Australia. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 415. [[CrossRef](#)]
22. Rothenberg, S.E.; Jackson, B.P.; Carly, M.G.; Donohue, A.; Emmons, A.M. Co-exposure to methylmercury and inorganic arsenic in baby rice cereals and rice-containing teething biscuits. *Environ. Res.* **2017**, *159*, 639–647. [[CrossRef](#)]
23. Ljung, K.; Palm, B.; Grandér, M.; Vahter, M. High concentrations of essential and toxic elements in infant formula and infant foods—A matter of concern. *Food Chem.* **2011**, *127*, 943–951. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Melo, R.; Gellein, K.; Evje, L.; Syversen, T. Minerals and trace elements in commercial infant food. *Food Chem. Toxicol.* **2008**, *46*, 3339–3342. [[CrossRef](#)]
25. Abt, E.; Robin, L.P.; McGrath, S.; Srinivasan, J.; DiNovi, M.; Adachi, Y.; Chirtel, S. Acrylamide levels and dietary exposure from foods in the United States, an update based on 2011–2015 data. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control.* **2019**, *36*, 1475–1490. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Sirot, V.; Rivière, G.; Leconte, S.; Vin, K.; Traore, T.; Jean, J.; Hulin, M.; Carne, G.; Gorecki, S.; Veyrand, B.; et al. French infant total diet study: Dietary exposure to heat-induced compounds (acrylamide, furan and polycyclic aromatic hydrocarbons) and associated health risks. *Food Chem. Toxicol.* **2019**, *130*, 308–316. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Lambert, M.; Inthavong, C.; Hommet, F.; Leblanc, J.C.; Hulin, M.; Guérin, T. Levels of acrylamide in foods included in 'the first French total diet study on infants and toddlers'. *Food Chem.* **2018**, *240*, 997–1004. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Elias, A.; Roasto, M.; Reinik, M.; Nelis, K.; Nurk, E.; Elias, T. Acrylamide in commercial foods and intake by infants in Estonia. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control.* **2017**, *34*, 1875–1884. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Mojska, H.; Gielecińska, I.; Stoś, K. Determination of acrylamide level in commercial baby foods and an assessment of infant dietary exposure. *Food Chem. Toxicol.* **2012**, *50*, 2722–2728. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
30. Cao, X.L.; Corriveau, J.; Popovic, S.; Clement, G.; Beraldin, F.; Dufresne, G. Bisphenol a in baby food products in glass jars with metal lids from Canadian Markets. *J. Agric. Food Chem.* **2009**, *57*, 5345–5351. [[CrossRef](#)]
31. Martínez, M.Á.; Castro, I.; Rovira, J.; Ares, S.; Rodríguez, J.M.; Cunha, S.C.; Casal, S.; Fernandes, J.O.; Schuhmacher, M.; Nadal, M. Early-life intake of major trace elements, bisphenol A, tetrabromobisphenol A and fatty acids: Comparing human milk and commercial infant formulas. *Environ. Res.* **2019**, *169*, 246–255. [[CrossRef](#)]
32. Cirillo, T.; Latini, G.; Castaldi, M.A.; Dipaola, L.; Fasano, E.; Esposito, F.; Scognamiglio, G.; Di Francesco, F.; Cobellis, L. Exposure to di-2-ethylhexyl phthalate, di-N-butyl phthalate and bisphenol A through infant formulas. *J. Agric. Food Chem.* **2015**, *63*, 3303–3310. [[CrossRef](#)]
33. Niu, Y.; Zhang, J.; Duan, H.; Wu, Y.; Shao, B. Bisphenol A and nonylphenol in foodstuffs: Chinese dietary exposure from the 2007 total diet study and infant health risk from formulas. *Food Chem.* **2015**, *167*, 320–325. [[CrossRef](#)]
34. Karasauliya, K.; Bhateria, M.; Sonker, A.; Singh, S.P. Determination of bisphenol analogues in infant formula products from India and evaluating the health risk in infants associated with their exposure. *J. Agric. Food Chem.* **2021**, *7*, 3932–3941. [[CrossRef](#)]
35. Sun, N.; Guo, Q.; Ou, J.B. Simultaneous determination of endogenous hormones and exogenous contaminants in infant formula powdered milk by salting-out assisted liquid–liquid extraction combined with solid-phase extraction purification and UPLC-MS/MS. *Anal. Methods* **2017**, *9*, 6177–6185. [[CrossRef](#)]
36. Saito, K.; Ohmura, A.; Takekuma, M. Assessment of dioxin intake from commercial baby food in infant. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **2008**, *80*, 185–187. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Lorán, S.; Bayarri, S.; Conchello, P.; Herrera, A. Risk assessment of PCDD/PCDFs and indicator PCBs contamination in Spanish commercial baby food. *Food Chem. Toxicol.* **2010**, *48*, 145–151. [[CrossRef](#)]
38. Sasamoto, T.; Tatebe, H.; Yamaki, Y.; Hashimoto, T.; Ushio, F.; Ibe, A. Estimation of daily intake of PCDDs, PCDFs and Co-PCBs from baby foods. *Skokuhin Eiseigaku Zasshi* **2006**, *47*, 157–163. [[CrossRef](#)]

39. Pandelova, M.; Piccinelli, R.; Lopez, W.L.; Henkelmann, B.; Molina-Molina, J.M.; Arrebola, J.P.; Olea, N.; Leclercq, C.; Schramm, K.W. Assessment of PCDD/F, PCB, OCP and BPA dietary exposure of non-breast-fed European infants. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control.* **2011**, *28*, 1110–1122. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
40. Costopoulou, D.; Vassiliadou, I.; Leondiadis, L. Infant dietary exposure to dioxins and dioxin-like compounds in Greece. *Food Chem. Toxicol.* **2013**, *59*, 316–324. [[CrossRef](#)]
41. Hulin, M.; Sirot, V.; Vasseur, P.; Mahe, A.; Leblanc, J.C.; Jean, J.; Marchand, P.; Venisseau, A.; Le Bizec, B.; Rivière, G. Health risk assessment to dioxins, furans and PCBs in young children: The first French evaluation. *Food Chem. Toxicol.* **2020**, *139*, 111292. [[CrossRef](#)]
42. De Filippis, S.P.; Brambilla, G.; Dellatte, E.; Corrado, F.; Esposito, M. Exposure to polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), dioxin-like polychlorinated biphenyls (DL-PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) through the consumption of prepared meals in Italy. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control.* **2014**, *31*, 1114–1126. [[CrossRef](#)]
43. Lambert, M.; Inthavong, C.; Desbourdes, C.; Hommet, F.; Sirot, V.; Leblanc, J.C.; Hulin, M.; Guérin, T. Levels of furan in foods from the first French Total Diet Study on infants and toddlers. *Food Chem.* **2018**, *266*, 381–388. [[CrossRef](#)]
44. Altaki, M.S.; Santos, F.J.; Puignou, L.; Galceran, M.T. Furan in commercial baby foods from the Spanish market: Estimation of daily intake and risk assessment. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control* **2017**, *34*, 728–739. [[CrossRef](#)]
45. Sijja, W.; Enting, W.; Yuan, Y. Detection of furan levels in select Chinese foods by solid phase microextraction–gas chromatography/mass spectrometry method and dietary exposure estimation of furan in the Chinese population. *Food Chem. Toxicol.* **2014**, *64*, 34–40. [[CrossRef](#)]
46. Scholl, G.; Humblet, M.F.; Scippo, M.L.; De Pauw, E.; Eppe, G.; Saegerman, C. Preliminary assessment of the risk linked to furan ingestion by babies consuming only ready-to-eat food. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control.* **2013**, *30*, 654–659. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
47. Minorczyk, M.; Góralczyk, K.; Struciński, P.; Hernik, A.; Czaja, K.; Łyczewska, M.; Korcz, W.; Starski, W.; Ludwicki, J. Risk assessment for infants exposed to furan from ready-to-eat thermally processed food products in Poland. *Rocz. Panstw. Zakł. Hig.* **2012**, *63*, 403–410. [[PubMed](#)]
48. Liu, Y.T.; Tsai, S.W. Assessment of dietary furan exposures from heat processed foods in Taiwan. *Chemosphere* **2010**, *79*, 54–59. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
49. Lachenmeier, D.W.; Reusch, H.; Kuballa, T. Risk assessment of furan in commercially jarred baby foods, including insights into its occurrence and formation in freshly home-cooked foods for infants and young children. *Food Addit. Contam. Part A* **2009**, *26*, 776–785. [[CrossRef](#)]
50. Mallmann, C.A.; Tyska, D.; Almeida, C.A.; Oliveira, M.S.; Gressler, L.T. Mycotoxicological monitoring of breakfast and infant cereals marketed in Brazil. *Int. J. Food Microbiol.* **2020**, *331*, 108628. [[CrossRef](#)]
51. Saleh, I.; Goktepe, I. Health risk assessment of Patulin intake through apples and apple-based foods sold in Qatar. *Heliyon* **2019**, *5*, e02754. [[CrossRef](#)]
52. Herrera, M.; Bervis, N.; Carramiñana, J.; Juan, T.; Herrera, A.A.; Ariño, A.; Lorán, S. Occurrence and exposure assessment of aflatoxins and deoxynivalenol in cereal-based baby foods for infants. *Toxins* **2019**, *11*, 150. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
53. Postupolski, J.; Starski, A.; Ledzion, E.; Kurpińska-Jaworska, J.; Szczesna, M. Exposure assessment of infants and young children on selected Fusarium toxins. *Rocz. Panstw. Zakł. Hig.* **2019**, *70*, 5–14. [[CrossRef](#)]
54. Khoshnamvand, Z.; Nazari, F.; Mehrasebi, M.R.; Hosseini, M.J. Occurrence and safety evaluation of ochratoxin A in cereal-based baby foods collected from Iranian retail market. *J. Food Sci.* **2019**, *84*, 695–700. [[CrossRef](#)]
55. Ojuri, O.T.; Ezekiel, C.N.; Eskola, M.K.; Šarkanj, B.; Babalola, A.D.; Sulyok, M.; Hajšlová, J.; Elliott, C.T.; Krska, R. Mycotoxin co-exposures in infants and young children consuming household- and industrially-processed complementary foods in Nigeria and risk management advice. *Food Control* **2019**, *98*, 312–322. [[CrossRef](#)]
56. Omar, S.S. Aflatoxin M1 levels in raw milk, pasteurized milk and infant formula. *Ital. J. Food Saf.* **2016**, *5*, 5788. [[CrossRef](#)]
57. Sundheim, L.; Lillegaard, I.T.; Fæste, C.K.; Brantsæter, A.L.; Brodal, G.; Eriksen, G.S. Deoxynivalenol exposure in Norway, risk assessments for different human age groups. *Toxins* **2017**, *9*, 46. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
58. Er, B.; Demirhan, B.; Yentür, G. Short communication: Investigation of aflatoxin M1 levels in infant follow-on milks and infant formulas sold in the markets of Ankara, Turkey. *J. Dairy Sci.* **2014**, *97*, 3328–3331. [[CrossRef](#)]
59. Torović, L. Aflatoxin M1 in processed milk and infant formulae and corresponding exposure of adult population in Serbia in 2013–2014. *Food Addit. Contam. Part B* **2015**, *8*, 235–244.
60. Li, S.; Min, L.; Wang, G.; Li, D.; Zheng, N.; Wang, J. Occurrence of Aflatoxin M1 in raw milk from manufacturers of infant milk powder in China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, *15*, 879. [[CrossRef](#)]
61. Vasco, E.R.; Alvitto, P.C. Occurrence and infant exposure assessment of nitrates in baby foods marketed in the region of Lisbon, Portugal. *Food Addit. Contam. Part B* **2011**, *4*, 218–225. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
62. Pardo-Marin, O.; Yusà-Pelechà, V.; Villalba-Martín, P.; Perez-Dasi, J.A. Monitoring programme on nitrates in vegetables and vegetable-based baby foods marketed in the Region of Valencia, Spain: Levels and estimated daily intake. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control.* **2010**, *27*, 478–486. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
63. Cortesi, M.L.; Vollano, L.; Peruzzi, M.F.; Marrone, R.; Mercogliano, R. Determination of nitrate and nitrite levels in infant foods marketed in Southern Italy. *CyTA J. Food* **2015**, *13*, 629–634. [[CrossRef](#)]



64. Rebelo, J.S.; Almeida, M.D.; Vales, L.; Almeida, C.M. Presence of nitrates in baby foods marketed in Portugal. *Cogent. Food Agric.* **2015**, *1*, 1010414. [[CrossRef](#)]
65. Chetty, A.A.; Prasad, S. Flow injection analysis of nitrate and nitrite in commercial baby foods. *Food Chem.* **2016**, *197 Pt A*, 503–508. [[CrossRef](#)]
66. Elias, A.; Jalakas, S.; Roasto, M.; Reinik, M.; Nurk, E.; Kaart, T.; Tuvike, A.; Meramäe, K.; Nelis, K.; Elias, T. Nitrite and nitrate content in meat products and estimated nitrite intake by the Estonian children. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control.* **2020**, *37*, 1229–1237. [[CrossRef](#)]
67. Mancini, F.R.; Paul, D.; Gauvreau, J.; Volatier, J.L.; Vin, K.; Hulin, M. Dietary exposure to benzoates (E210–E213), parabens (E214–E219), nitrites (E249–E250), nitrates (E251–E252), BHA (E320), BHT (E321) and aspartame (E951) in children less than 3 years old in France. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control.* **2015**, *32*, 293–306. [[CrossRef](#)]
68. Reinik, M.; Tamme, T.; Roasto, M.; Juhkam, K.; Jurtsenko, S.; Tenüo, T.; Kiis, A. Nitrites, nitrates and N-nitrosoamines in Estonian cured meat products: Intake by Estonian children and adolescents. *Food Addit. Contam.* **2005**, *22*, 1098–1105. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
69. Nougadère, A.; Sirot, V.; Cravedi, J.-P.; Vasseur, P.; Feidt, C.; Fussell, R.J.; Hulin, M. Dietary exposure to pesticide residues and associated health risks in infants and young children—results of the French infant total diet study. *Environ. Int.* **2020**, *137*, 105529. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
70. Štěpán, R.; Tichá, J.; Hajslová, J.; Kovalczuk, T.; Kocourek, V. Baby food production chain: Pesticide residues in fresh apples and products. *Food Addit. Contam.* **2005**, *22*, 1231–1242. [[CrossRef](#)]
71. Jeong, Y.; Lee, S.; Kim, S.; Choi, S.D.; Park, J.; Kim, H.J.; Lee, J.J.; Choi, G.; Choi, S.; Kim, S.; et al. Occurrence and exposure assessment of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides from homemade baby food in Korea. *Sci. Total. Environ.* **2014**, *470–471*, 1370–1375. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
72. Torović, L.; Vuković, G.; Dimitrov, N. Pesticide active substances in infant food in Serbia and risk assessment. *Food Addit. Contam. Part B* **2020**, *14*, 30–39. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
73. Kapoor, U.; Srivastava, M.K.; Srivastava, A.K.; Patel, D.K.; Garg, V.; Srivastava, L.P. Analysis of imidacloprid residues in fruits, vegetables, cereals, fruit juices, and baby foods, and daily intake estimation in and around Lucknow, India. *Environ. Toxicol. Chem.* **2013**, *32*, 723–727. [[CrossRef](#)]
74. Gilbert-López, B.; García-Reyes, J.F.; Ortega-Barral, P.; Molina-Díaz, A.; Fernández-Alba, A.R. Analyses of pesticide residues in fruit-based baby food by liquid chromatography/electrospray ionization time-of-flight mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **2007**, *21*, 2059–2071. [[CrossRef](#)]
75. Panseri, S.; Nobile, M.; Arioli, F.; Biolatti, C.; Pavlovic, R.; Chiesa, L.M. Occurrence of perchlorate, chlorate and polar herbicides in different baby food commodities. *Food Chem.* **2020**, *320*, 127205. [[CrossRef](#)]
76. Santonicola, S.; Albrizio, S.; Murrù, N.; Ferrante, M.C.; Mercogliano, R. Study on the occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in milk and meat/fish based baby food available in Italy. *Chemosphere* **2017**, *184*, 467–472. [[CrossRef](#)]
77. Di Bella, C.; Traina, A.; Giosuè, C.; Carpintieri, D.; Lo Dico, G.; Bellante, A.; Del Core, M.; Falco, F.; Gherardi, S.; Uccello, M.M.; et al. Heavy metals and PAHs in meat, milk, and seafood from augusta area (Southern Italy): Contamination levels, dietary intake, and human exposure assessment. *Front. Public Health* **2020**, *8*, 273. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
78. Reinik, M.; Tamme, T.; Roasto, M.; Juhkam, K.; Tenno, T.; Kiis, A. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in meat products and estimated PAH intake by children and the general population in Estonia. *Food Addit. Contam.* **2007**, *24*, 429–437. [[CrossRef](#)]
79. Badibostan, H.; Feizy, J.; Daraei, B.; Shoeibi, S.; Rajabnejad, S.H.; Asili, J.; Taghizadeh, S.F.; Giesy, J.P.; Karimi, G. Polycyclic aromatic hydrocarbons in infant formulae, follow-on formulae, and baby foods in Iran: An assessment of risk. *Food Chem. Toxicol.* **2019**, *131*, 110640. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
80. Iwegbue, C.M.; Edeme, J.N.; Tesi, G.O.; Bassey, F.I.; Martincigh, B.S.; Nwajei, G.E. Polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in commercially available infant formulae in Nigeria: Estimation of dietary intakes and risk assessment. *Food Chem. Toxicol.* **2014**, *72*, 221–227. [[CrossRef](#)]
81. Han, J.H.; Kim, M.J.; Shin, H.S. Evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbon contents and risk assessment for infant formula in Korea. *J. Appl. Biol. Chem.* **2016**, *57*, 173–179. [[CrossRef](#)]
82. Beekman, J.K.; Grassi, K.; MacMahon, S. Updated occurrence of 3-monochloropropane-1,2-diol esters (3-MCPD) and glycidyl esters in infant formulas purchased in the United States between 2017 and 2019. *Food Addit. Contam. Part A* **2020**, *37*, 374–390. [[CrossRef](#)]
83. Wöhrlin, F.; Fry, H.; Lahrssen-Wiederholt, M.; Preiß-Weigert, A. Occurrence of fatty acid esters of 3-MCPD, 2-MCPD and glycidol in infant formula. *Food Addit. Contam. Part A* **2015**, *32*, 1810–1822. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
84. Di Campi, E.; Di Pasquale, M.; Coni, E. Contamination of some foodstuffs marketed in Italy by fatty acid esters of monochloropropanediols and glycidol. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control.* **2020**, *37*, 753–762. [[CrossRef](#)]
85. Jiang, L.; Jing, Z.; Yibaina, W.; Yan, S.; Lili, X.; Yanxu, Z.; Lei, Z. Dietary exposure to fatty acid esters of monochloropropanediols and glycidol of 2- to 3-year-old children attending nursery schools from two areas in China using the duplicate-diet collection method. *Food Addit. Contam. Part A* **2020**, *38*, 70–80. [[CrossRef](#)]
86. Sadowska-Rociek, A.; Surma, M.; Cieslik, E. Analysis of acrylamide, 3-monochloropropane-1,2-diol, its esters and glycidyl esters in carbohydrate-rich products available on the Polish market. *Rocz. Panstw. Zakl. Hig.* **2018**, *69*, 127–137.
87. Leigh, J.; MacMahon, S. Occurrence of 3-monochloropropanediol esters and glycidyl esters in commercial infant formulas in the United States. *Food Addit. Contam. Part A* **2017**, *34*, 356–370. [[CrossRef](#)]



88. Sui, H.; Gao, H.; Chen, Y.; Ke, R.; Zhong, H.; Zhong, Q.; Song, Y. Survey of mineral oil hydrocarbons in infant formula from the Chinese market. *Food Addit. Contam. Part A* **2020**, *37*, 1040–1048. [\[CrossRef\]](#)
89. Zhang, S.; Liu, L.; Li, B.; Xie, Y.; Ouyang, J.; Wu, Y. Concentrations of migrated mineral oil/polyolefin oligomeric saturated hydrocarbons (MOSH/POSH) in Chinese commercial milk powder products. *Food Addit. Contam. Part A* **2019**, *36*, 1261–1272. [\[CrossRef\]](#)
90. Lei, Z.; Hong, Z.; Yan, F.C.; Jing, L.; Dong, A.; Feng, P.; Jian, B.Z.; Huai, N.Z. Risk Assessment of MOAH and MOSH in infants and young children. *Biomed. Environ. Sci.* **2019**, *32*, 130–133.
91. Bodeau-Livinec, F.; Glorennec, P.; Cot, M.; Dumas, P.; Durand, S.; Massougbojji, A.; Ayotte, P.; Le Bot, B. Elevated blood lead levels in infants and mothers in Benin and potential sources of exposure. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2016**, *13*, 316. [\[CrossRef\]](#)
92. Téllez-Rojo, M.M.; Bellinger, D.C.; Arroyo-Quiroz, C.; Lamadrid-Figueroa, H.; Mercado-García, A.; Schnaas-Arrieta, L.; Wright, R.O.; Hernández-Avila, M.; Hu, H. Longitudinal associations between blood lead concentrations lower than 10 microg/dL and neurobehavioral development in environmentally exposed children in Mexico City. *Pediatrics* **2006**, *118*, 323–330. [\[CrossRef\]](#)
93. Satarug, S.; Gobe, G.C.; Vesey, D.A.; Phelps, K.R. Cadmium and lead exposure, nephrotoxicity, and mortality. *Toxics* **2020**, *8*, 86. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
94. Llop, S.; Murcia, M.; Aguinagalde, X.; Vioque, J.; Rebagliato, M.; Cases, A.; Iñiguez, C.; Lopez-Espinosa, M.J.; Amurrio, A.; Navarrete-Muñoz, M.; et al. Exposure to mercury among Spanish preschool children: Trend from birth to age four. *Environ. Res.* **2014**, *132*, 82–92. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
95. Gundert-Remy, U.; Damm, G.; Foth, H.; Freyberger, A.; Gebel, T.; Golka, K.; Röhl, C.; Schupp, T.; Wollin, K.M.; Hengstler, J.G. High exposure to inorganic arsenic by food: The need for risk reduction. *Arch. Toxicol.* **2015**, *89*, 2219–2227. [\[CrossRef\]](#)
96. Bielecka, J.; Markiewicz-Żukowska, R.; Nowakowski, P.; Grabia, M.; Puścion-Jakubik, A.; Mielcarek, K.; Gromkowska-Kępka, K.J.; Soroczyńska, J.; Socha, K. Content of toxic elements in 12 groups of rice products available on Polish market: Human health risk assessment. *Foods* **2020**, *9*, 1906. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
97. Koszucka, A.; Nowak, A.; Nowak, I.; Motyl, I. Acrylamide in human diet, its metabolism, toxicity, inactivation and the associated European Union legal regulations in food industry. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2020**, *60*, 1677–1692. [\[CrossRef\]](#)
98. Semla, M.; Goc, Z.; Martiniaková, M.; Omelka, R.; Formicki, G. Acrylamide: A common food toxin related to physiological functions and health. *Physiol. Res.* **2017**, *66*, 205–217. [\[CrossRef\]](#)
99. Schecter, A.; Malik, N.; Haffner, D.; Smith, S.; Harris, T.R.; Paepke, O.; Birnbaum, L. Bisphenol A (BPA) in U.S. food. *Environ. Sci. Technol.* **2010**, *44*, 9425–9430. [\[CrossRef\]](#)
100. Hsu, J.F.; Guo, Y.L.; Liu, C.H.; Hu, S.C.; Wang, J.N.; Liao, P.C. A comparison of PCDD/PCDFs exposure in infants via formula milk or breast milk feeding. *Chemosphere* **2007**, *66*, 311–319. [\[CrossRef\]](#)
101. Bakhiya, N.; Appel, K.E. Toxicity and carcinogenicity of furan in human diet. *Arch. Toxicol.* **2010**, *84*, 563–578. [\[CrossRef\]](#)
102. Kadan, G.; Aral, N. Effects of mycotoxins on child development. *Curr. Mol. Pharmacol.* **2020**, *14*, 114.
103. Jones, J.A.; Hopper, A.O.; Power, G.G.; Blood, A.B. Dietary intake and bio-activation of nitrite and nitrate in newborn infants. *Pediatr. Res.* **2015**, *77*, 173–181. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
104. Chilaka, C.A.; De Boevre, M.; Atanda, O.O.; De Saeger, S. Fate of Fusarium mycotoxins during processing of Nigerian traditional infant foods (ogi and soybean powder). *Food Res. Int.* **2018**, *116*, 408–418. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
105. McMullen, S.E.; Casanova, J.A.; Gross, L.K.; Schenck, F.J. Ion chromatographic determination of nitrate and nitrite in vegetable and fruit baby foods. *J. AOAC Int.* **2005**, *88*, 1793–1796. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
106. Johnson, S.F. Methemoglobinemia: Infants at risk. *Curr. Probl. Pediatr. Adolesc. Health Care* **2019**, *49*, 57–67. [\[CrossRef\]](#)
107. Sosan, M.; Adeleye, A.O.; Oyekunle, J.A.; Udah, O.; Oloruntunbi, P.; Daramola, M.; Saka, W.T. Dietary risk assessment of organochlorine pesticide residues in maize-based complementary breakfast food products in Nigeria. *Heliyon* **2020**, *6*, e05803. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
108. Anand, N.; Chakraborty, P.; Ray, S. Human exposure to organochlorine, pyrethroid and neonicotinoid pesticides: Comparison between urban and semi-urban regions of India. *Environ. Pollut.* **2021**, *270*, 116156. [\[CrossRef\]](#)
109. Bajwa, U.; Sandhu, K.S. Effect of handling and processing on pesticide residues in food- a review. *J. Food Sci. Technol.* **2014**, *51*, 201–220. [\[CrossRef\]](#)
110. Yang, T.; Doherty, J.; Zhao, B.; Kinchla, A.J.; Clark, J.M.; He, L. Effectiveness of commercial and homemade washing agents in removing pesticide residues on and in apples. *J. Agric. Food Chem.* **2017**, *65*, 9744–9752. [\[CrossRef\]](#)
111. Grob, K. Mineral oil hydrocarbons in food: A review. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control.* **2018**, *35*, 1845–1860. [\[CrossRef\]](#)
112. Zhao, K.; Fu, W.; Ye, Z.; Zhang, C. Contamination and spatial variation of heavy metals in the soil-rice system in Nanxun County, Southeastern China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2015**, *28*, 1577–1594. [\[CrossRef\]](#)
113. Majumder, S.; Banik, P. Geographical variation of arsenic distribution in paddy soil, rice and rice-based products: A meta-analytic approach and implications to human health. *J. Environ. Manag.* **2019**, *233*, 184–199. [\[CrossRef\]](#)
114. Ratnavathi, C.V.; Komala, V.V.; Kumar, B.S.V.; Das, I.K.; Patil, J.V. Natural occurrence of aflatoxin B1 in sorghum grown in different geographical regions of India. *J. Sci. Food Agric.* **2012**, *92*, 2416–2420. [\[CrossRef\]](#)
115. Hossain, M.Z.; Mari, N.; Goto, T. The relationship between ergosterol and mycotoxin contamination in maize from various countries. *Mycotoxin Res.* **2015**, *31*, 91–99. [\[CrossRef\]](#)
116. Paterson, R.R.M.; Venâncio, A.; Lima, N.; Guilloux-Bénatier, M.; Rousseaux, S. Predominant mycotoxins, mycotoxigenic fungi and climate change related to wine. *Food Res. Int.* **2018**, *103*, 478–491. [\[CrossRef\]](#)

# 11. Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5-3 Years on the Polish Market



Article

## Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5–3 Years on the Polish Market

Anita Żmudzińska \*, Anna Puścion-Jakubik , Joanna Bielecka, Monika Grabia , Jolanta Soroczyńska, Konrad Mielcarek and Katarzyna Socha

Department of Bromatology, Faculty of Pharmacy with the Division of Laboratory Medicine, Medical University of Białystok, Mickiewicza 2D Street, 15-222 Białystok, Poland; anna.puscion-jakubik@umb.edu.pl (A.P.-J.); joanna.bielecka@umb.edu.pl (J.B.); monika.grabia@umb.edu.pl (M.G.); jolanta.soroczyńska@umb.edu.pl (J.S.); konrad.mielcarek@umb.edu.pl (K.M.); katarzyna.socha@umb.edu.pl (K.S.)

\* Correspondence: anita.zmudzinska@umb.edu.pl; Tel.: +48-85-748-5469



**Citation:** Żmudzińska, A.; Puścion-Jakubik, A.; Bielecka, J.; Grabia, M.; Soroczyńska, J.; Mielcarek, K.; Socha, K. Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5–3 Years on the Polish Market. *Nutrients* **2022**, *14*, 2325. <https://doi.org/10.3390/nu14112325>

Academic Editor: Zhiyong Zou

Received: 5 May 2022

Accepted: 30 May 2022

Published: 1 June 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** Toxic elements have a negative impact on health, especially among infants and young children. Even low levels of exposure can impair the normal growth and development of children. In young children, all organs and metabolic processes are insufficiently developed, making them particularly vulnerable to the effects of toxic elements. The aim of this study is to estimate the concentration of toxic elements in products consumed by infants and young children. The health risk of young children due to consumption of ready-made products potentially contaminated with As (arsenic), Cd (cadmium), Hg (mercury), and Pb (lead) was also assessed. A total of 397 samples (dinners, porridges, mousses, snacks “for the handle”, baby drinks, dairy) were analyzed for the content of toxic elements. Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) was used to assess As, Cd, and Pb concentration. The determination of Hg was performed by atomic absorption spectrometry (AAS). In order to estimate children's exposure to toxic elements, the content of indicators was also assessed: estimated daily intake (EDI), estimated weekly intake (EWI), provisional tolerable weekly intake (PTWI), provisional tolerable monthly intake (PTMI), the benchmark dose lower confidence limit (BMDL), target hazard quotient (THQ), hazard index (HI), and cancer risk (CR). The average content of As, Cd, Hg, and Pb for all ready-made products for children is:  $1.411 \pm 0.248 \mu\text{g}/\text{kg}$ ,  $2.077 \pm 0.154 \mu\text{g}/\text{kg}$ ,  $3.161 \pm 0.159 \mu\text{g}/\text{kg}$ , and  $9.265 \pm 0.443 \mu\text{g}/\text{kg}$ , respectively. The highest content As was found in wafer/crisps ( $84.71 \mu\text{g}/\text{kg}$ ); in the case of Cd, dinners with fish ( $20.15 \mu\text{g}/\text{kg}$ ); for Hg, dinners with poultry ( $37.25 \mu\text{g}/\text{kg}$ ); and for Pb, fruit mousse ( $138.99 \mu\text{g}/\text{kg}$ ). The results showed that 4.53% of the samples attempted to exceed Pb, and 1.5% exceeded levels of Hg. The highest value of THQ was made in the case of drinks, for Cd and Pb in mousses for children, and Hg for dairy products. The THQ, BMDL, and PTWI ratios were not exceeded. The analyzed ready-to-eat products for children aged 0.5–3 years may contain toxic elements, but most of them appear to be harmless to health.

**Keywords:** baby food; food contaminant; toxic elements; food exposure; children safety; children's health; arsenic; cadmium; mercury; lead

### 1. Introduction

Toxic elements are found in the human environment, and, as such, they can have a negative effect on health. Their consumption is especially dangerous in the early years of life, as this can affect children's development, even at low exposure levels. Among infants and young children, changes in the structure and function of the main organs occur very quickly, making them a group more susceptible to the negative effects of toxic elements [1]. Infants and young children are characterized by a higher resting metabolism and a higher food consumption per kilogram of body weight. Additionally, changes in body composition can affect the absorption, distribution, and storage of toxic elements in the organs of a



growing organism. The digestive and endocrine systems are not fully developed at the time of birth, and vary in their maturation rates. Renal filtration among young children is only 30–40% developed. The differences in the development of the organism affect the degree of exposure and the distribution of pollutants; thus, the effects of exposure may be much more severe than in adults [1].

The inorganic form of arsenic (As) is listed by the IARC (Group 1) as a carcinogen [2]. Exposure to As has a toxic effect on diseases of the nervous system, children's nervous development, respiratory system, and skin. The typical sources of As in food are rice processing products, dairy products, and products intended for infants [3].

Cadmium (Cd) is also on the IARC list of carcinogenic pollutants (Group 1) [2]. As with Pb, Cd can be neurotoxic in children at doses lower than the TWI (tolerable weekly intake). Exposure to Cd disrupts osteoblast metabolism, collagen production, and also increases the urinary excretion of calcium and phosphorus. In children, it can disturb growth and damage bones [4]. Cd is present in grains, rice, fish and seafood, and vegetables [5].

Mercury (Hg) is not classified in the IARC list for carcinogenicity (Group 3) [2]. Hg enters the body through food, contaminated water, cosmetics, soil, and other Hg-containing products. The toxicity of this element depends on the time of exposure, dose, and type of Hg compound. Methylmercury (MeHg) is a carbon-bound form of Hg that is highly neurotoxic in infants and young children [6]. MeHg may cause central nervous system dysfunction in children. Exposure to Hg can cause neuromotor dysfunction, mental retardation, and cerebral palsy [7]. In adults, the half-life of Hg can be up to 90 days, and in children this time may be prolonged [8]. The main source of Hg is fish and seafood, with the highest amounts being among predatory fish [6].

Lead (Pb) is recognized as "possibly carcinogenic to humans (Group 2B)" in the International Agency of Research on Cancer (IARC) list of carcinogenic contaminants [2]. Its neurotoxic effect was observed at the lowest tested level, therefore a safe threshold for exposure to Pb cannot be assumed [9]. Exposure to Pb can impair the development of young children by damaging the nervous system. Long-term exposure results in difficulties with concentration and attention, and a lower IQ [10]. The higher the Pb concentration in the blood, the more nervous system disorders develop in children [11]. Pb can be found in meat, fish and seafood, grain products, dairy products, and fruit and vegetables [12].

In the European Union (EU), products for infants and young children are subject to specific standards regarding the composition, nutritional value, and contamination of food. The regulation requires food producers to evaluate toxic elements in products intended for infants and young children. According to the regulation of the European Commission, the permissible concentrations of toxic elements in children's products are more restrictive compared to conventional food [13].

In Poland and in Europe, there are no extensive publications assessing the content of toxic elements in children's products. Studies from outside of Europe show that the content of As and Cd are exceeded in 75% and 14% of samples tested; therefore, there is a need to evaluate food for this age group [14,15].

The aim of the study was to assess the safety of ready-to-eat products for children aged 0.5–3 years in terms of the content of toxic elements. In addition, the health risk of infants and young children as a result of exposure to toxic elements in ready-to-eat food was assessed and compared with the applicable standards.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Sample Collection

The research material consisted of 397 samples. Table 1 shows the number of samples with product categories.

**Table 1.** The number of samples with product categories.

Type of Products	<i>n</i>
BABY DINNERS	102
-with poultry	24
-with beef	16
-with pork	13
-with fish	18
-with rabbit	11
-vegetarian	20
PORRIDGE	50
-with milk	8
-with milk and fruit	15
-cereal gluten	12
-gluten-free cereal	15
FRUIT AND VEGETABLE MOUSSES	58
-fruit and vegetables	9
-fruit	33
-fruit and cereal	6
-fruit and dairy	6
-vegetables	4
BABY DRINKS	64
-fruit drinks and water	22
-fruit juices	42
SNACKS “FOR THE HAND”	62
-waffle/crisps	30
-biscuits/cookies	17
-fruit bars	15
DAIRY	60
-yellow cheese	28
-yogurt	32
TOTAL	397

The aim was to collect as many different categories as possible to obtain representative groups. The selection of samples reflects the range of products on the Polish market. The samples were purchased in brick-and-mortar stores (hypermarkets, discount stores, and children’s food stores located in Białystok) in north-eastern Poland, as well as in Polish online stores between December 2020 and September 2021. We have selected the most accessible and most consumed products by children aged 0.5–3 years old. The products were sourced from leading baby food producers, such as Nestle, Nutricia, Hipp, Humana, Holle, and Helpa. Most of the analyzed products can be consumed by children from 6 months of age, while products such as biscuits, cookies, crisps and fruit bars should be consumed after 12 months of age. Conventional products for the majority of consumers were also analyzed, such as cheese, milk desserts, and yoghurts, since they are often eaten by children.

## 2.2. Sample Digestion

All products were homogenized in a grinder or ground in a mortar, weighed (sample weight 0.25–0.35 g, with accuracy 0.001 g), and then placed in mineralization vessels made of polytetrafluoroethylene. The next step was the addition of 4 mL of concentrated 69% HNO<sub>3</sub> (Berghof, Speedwave, Eningen, Germany). The reagent was added according to the recommendations of the producer. Closed-loop microwave mineralization took place in four phases: first phase with a duration of 10 min, at a temperature of 170 °C, pressure 20 atm, power 90%; second phase with a duration of 10 min, at a temperature of 190 °C, pressure 30 atm, power 90%; third phase with a duration of 40 min, temperature 210 °C, pressure 40 atm, power 90%; and fourth phase with a cooling duration of 18 min, temperature 50 °C, pressure 40 atm, power 0%. After mineralization, the samples were quantitatively transferred to polypropylene vessels and diluted 10 times.

## 2.3. Analysis of Toxic Elements

In accordance with the regulations of the European Commission [16,17], individual types of food products have a daily limit of the consumption of toxic elements, which is the level at which they are safe for health.

### 2.3.1. As, Cd, Pb

Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS NexION 300D, PerkinElmer, Waltham, MA, USA) with a kinetic discrimination chamber (KED) was used for As analysis, while Cd and Pb analysis was performed in standard mode. To correct for polyatomic interference in this configuration, kinetic energy discrimination and collisions were applied. The limit of detection (LOD) was determined by producing 10 independent blank measurements. The LOD values were as follows: for As: 0.019 µg/kg; for Cd: 0.017 µg/kg; for Pb: 0.16 µg/kg, taking LOD as a three-fold standard deviation from the mean value of the sample concentration.

### 2.3.2. Hg

Hg analysis was determined without the initial mineralization process. Determination of Hg was performed by atomic absorption spectrometry (AAS) using the amalgamation technique (AMA-254, Leco Corp., Altec Ltd., Prague, Czech Republic). The samples were weighed (sample weight 0.018–0.023 g), placed in a nickel cuvette, and analyzed. In the first step, the sample was dried and ashed with oxygen at 600 °C. Hg vapors were collected by the amalgamator. In the last step, the element was released from the amalgamator and measured by atomic absorption spectrometry at 254 nm. The LOD for each sample was 0.003 ng/kg.

### 2.3.3. Certified Reference Materials

Before starting the analyses, the certified reference material (CRM) was marked to verify the accuracy of the method. In the case of baby dinners, it was Simulated diet D (Swedish National Food Administration, Livsmedelsverket, Uppsala, Sweden); for porridges and snacks—corn flour (Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warsaw, Poland); for dairy products—skim milk powder (Community Bureau of Reference BCR). A total of six independent samples were performed for each CRM. Table 2 shows the results of the quality control of the certified reference materials.

**Table 2.** The results of the quality control of the certified reference materials.

Element	Declared Concentration in CRM ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Recovery (%)	Precision (%)
CORN FLOUR (INCT-CF-3)			
As	10 *	101.3	4.5
Cd	7 *	99.1	4.1
Hg	1.5 *	101.7	4.6
Pb	52 *	98.8	2.3
SKIM MILK POWDER (CRM 63R)			
Hg	0.19 $\pm$ 0.02	98.3	3.8
Pb	18.5 $\pm$ 2.7	100.9	4.3
SIMULATED DIET D			
As	<50 *	-	3.9
Cd	478 $\pm$ 26	98.4	2.4
Hg	52 *	102.0	3.2
Pb	218 $\pm$ 13	99.6	2.2

\* Informational value.

#### 2.4. Risk Assessment

To estimate the exposure to toxic elements in a short time, indicators such as estimated daily intake (EDI), estimated weekly intake (EWI), provisional tolerable weekly intake (PTWI), provisional tolerable monthly intake (PTMI) were used. Long-term exposure to toxic elements was estimated using the following indicators: the benchmark dose lower confidence limit (BMDL), target hazard quotient (THQ), hazard index (HI), and cancer risk (CR) [18].

Currently, the application of the PTWI index for Pb and As, previously recommended by EFSA in 2002, has been withdrawn. A more appropriate indicator is the BMDL, which is used to compare the coverage of the benchmark dose lower confidence limit [18].

In order to determine the dose of the oral exposure of toxic elements, the EDI values were calculated in accordance with the equation:

$$\text{EDI} = C \times \text{Cons},$$

where C is the average concentration of a given toxic element in products for children (mg/kg), and Cons is the average daily consumption (kg) of product (children's dinners, porridges, mousses, drinks, snacks, dairy products) by young children aged 0.5–3 years (average: 1 year and 9 months) in Poland [19]. Standard portions consumed by children and declared by the producer were adopted. Based on the EDI value, the average weekly consumption (EWI) was calculated by multiplying the given result by 7 (7 days).

The PTWI value was also calculated according to the equation:

$$\text{PTWI} = \text{EDI} \times 7/\text{BW},$$

where BW is the average body weight (the adopted average body weight for this age group is 10.5 kg). The PTWI value for Cd is 7  $\mu\text{g}/\text{kg}$  BW/day, and for Hg, it is 1.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$  BW/day [16,20].

The BMDL index was also determined according to the equation:

$$\text{BMDL} = \text{EDI}/\text{BW}$$

BMDL values for As are 3  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{BW}/\text{day}$ , with a benchmark dose lower confidence of 0.5% (BMDL0.5) according to FAO/WHO standards. For Pb, it is 0.5–6  $\mu\text{g}/\text{kg}$  BW/day. PTWI values which are above the levels set by the standards may pose a health hazard. The results are presented as a percentage of the reference value [18].



The THQ index is also determined to produce adverse health effects due to the properties of the toxic elements, according to the equation:

$$\text{THQ} = (\text{Fr} \times \text{D} \times \text{Cons} \times \text{C}) / (\text{RfD} \times \text{BW} \times \text{T}) \times 10^{-3},$$

where Fr is the frequency of exposure per year (365 days), D is the exposure time (70 years), Cons is the average daily consumption of the product [g], C is the average concentration of a given toxic element in the product, and RfD is the oral reference dose, which is respectively 0.3 µg/kg BW/day for As and Hg, and 1 µg/kg BW/day for Cd and Pb, according to the guidelines of the United States Environmental Protection Agency (US EPA) [17]. If the THQ value is >1, it indicates a potential non-carcinogenic risk; if THQ is <1, it indicates a low non-carcinogenic risk [21].

Cancer risk (CR) is used to determine the carcinogenic risk for each toxic square, calculated according to the equation:

$$\text{CR} = (\text{Fr} \times \text{D} \times \text{EDI} \times \text{SF}) / \text{T} \times 10^{-3},$$

where SF stands for the slope factor of cancer. According to US EPA standards, the SF value is 1.5 mg/kg/day for As, 6.3 mg/kg/day for Cd, and 0.0085 mg/kg/day for Pb. If the CR index is above  $10^{-4}$ , it refers to an increased carcinogenic risk. The THQ and CR values for Hg were not calculated since, according to the US EPA position, it is not considered a carcinogenic element [21].

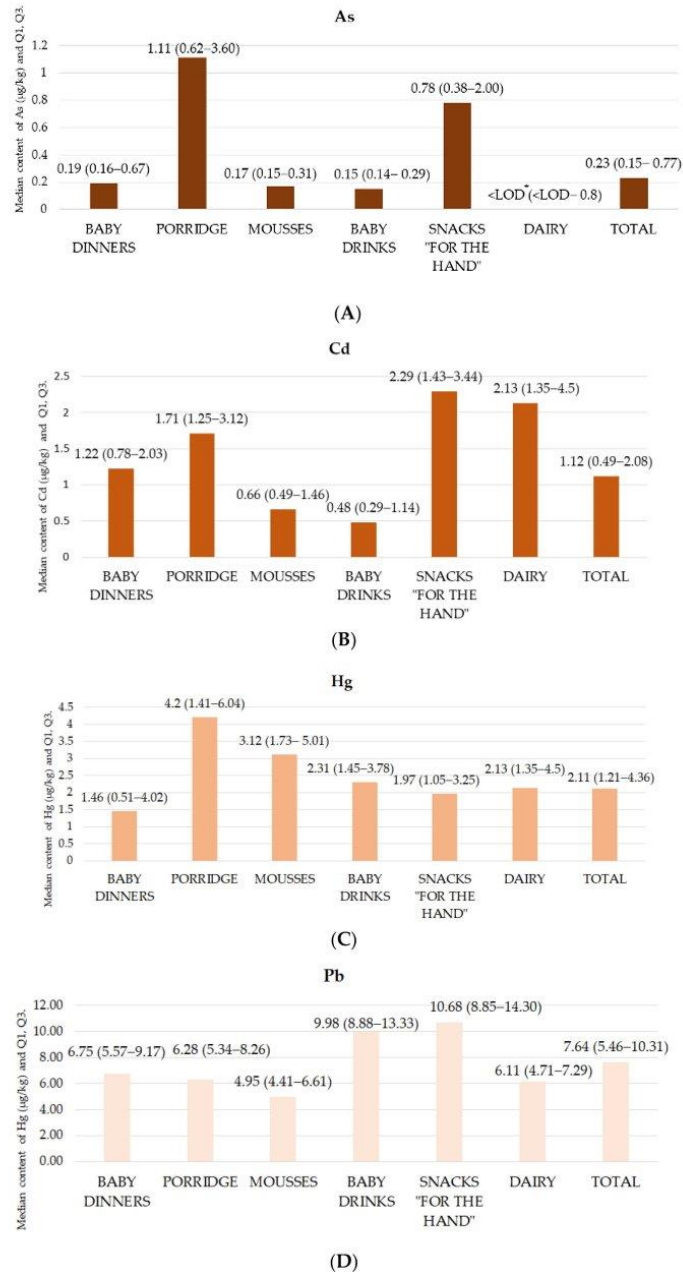
### 2.5. Statistical Analysis

The obtained results were analyzed using the Statistica software (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA). The Shapiro–Wilk test was performed, and the distribution was found to be non-normal. Non-parametric Mann–Whitney U tests and the Kruskal–Wallis ANOVA test were used to analyze the concentrations of toxic elements in various product groups. The results were summarized using the median and quartiles. To compare the results of our own research with other authors, the tables contain the mean, along with the standard deviation, as well as the maximum and minimum values. In order to assess significance, the values  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ , and  $p < 0.001$  were adopted.

## 3. Results

### 3.1. Content of As, Cd, Hg, and Pb

The average content of As in all samples was  $1.41 \pm 0.25$  µg/kg, while in 69 samples, no As was recorded. These were mainly products without the addition of cereals (fruit and vegetable mousses, drinks and dairy products), and the highest value was determined in a fruit bar with the addition of rice ( $84.71$  µg/kg). Among all of the categories, the lowest As content was found in fruit and cereal mousses ( $0.16 \pm 0.09$  µg/kg) and dairy products ( $0.10 \pm 0.16$  µg/kg). In turn, the highest As value was recorded in porridges ( $2.30 \pm 0.33$  µg/kg), and, in particular, in gluten-free porridges ( $4.31 \pm 0.72$  µg/kg). High concentrations were also obtained in snacks “for the hand” ( $2.92 \pm 10.77$  µg/kg), and especially in wafers/chips ( $4.88 \pm 15.34$  µg/kg). In accordance with the level of the European Commission [22], the maximum allowable level of As in food is 100 µg/kg (in cereals, fruit and vegetables, and meat). There were 69 samples for As below the limit of detection. The median As content results with quartile 1 (Q1) and quartile 3 (Q3) in the analyzed product groups are presented in Figure 1A.



**Figure 1.** Median As (A), Cd (B), Hg (C) and Pb (D) content with quartile 1 (Q1) and quartile 3 (Q3) in the analyzed product groups. \* LOD—limit of detection.



The mean concentration of Cd in all the tested samples was  $2.08 \pm 0.15 \mu\text{g}/\text{kg}$ . The lowest concentration of Cd in products was  $0.14 \mu\text{g}/\text{kg}$ , recorded in juices for children (apple, grape, chokeberry, raspberry). The highest Cd concentration was  $20.15 \mu\text{g}/\text{kg}$ , and was in a ready-to-eat dinner for children after 6 months of age, consisting mainly of vegetables and salmon. Taking into account the product categories, the lowest Cd values were recorded in dairy products ( $0.95 \pm 2.56 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) and especially in the yoghurt subgroup ( $0.45 \pm 0.78 \mu\text{g}/\text{kg}$ ), mousses ( $1.39 \pm 2.31 \mu\text{g}/\text{kg}$ ), and also in fruit juices ( $0.66 \pm 2.01 \mu\text{g}/\text{kg}$ ). The highest levels of Cd were obtained in drinks for children ( $3.39 \pm 1.30 \mu\text{g}/\text{kg}$ ), especially in fruit drinks and water ( $4.17 \pm 5.98 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) and snacks “for the hand” ( $3.09 \pm 1.69 \mu\text{g}/\text{kg}$ ), especially in the waffle/crisps subcategory ( $3.51 \pm 3.38 \mu\text{g}/\text{kg}$ ). According to the European Commission Regulation (EU) 2021/1323 of 10 August 2021 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of Cd in certain foodstuffs, the maximum level of Cd is  $100 \mu\text{g}/\text{kg}$  for cereal,  $40 \mu\text{g}/\text{kg}$  for baby food,  $20 \mu\text{g}/\text{kg}$  for fruits and vegetables,  $20 \mu\text{g}/\text{kg}$  for juices, and  $50 \mu\text{g}/\text{kg}$  for meat and fish [17]. The daily limit for Cd was not exceeded; therefore, it has not been included in the Table 3. There were 47 samples for Cd below the limit of detection. The median Cd content results with quartile 1 (Q1) and quartile 3 (Q3) in the analyzed product groups are presented in Figure 1B.

**Table 3.** Maximum allowable content of As, Cd, Hg, and Pb in food and the number of baby food samples that exceed the maximum allowable content [16,17,22].

Baby Food Samples	Maximum Allowable Content (mg/kg Product Weight)				Exceeding Maximum Allowable Content							
					As		Cd		Hg		Pb	
	As	Cd	Hg	Pb	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
Dinners ( <i>n</i> = 102)	-	0.04	0.01	0.02	-	-	0	0	3	0.75	1	0.25
Porridges ( <i>n</i> = 50)	0.5	0.04	0.01	0.02	0	0	0	0	0	0.00	2	0.50
Mousses ( <i>n</i> = 58)	0.5	0.02	0.01	0.01	0	0	0	0	2	0.50	1	0.25
Drinks ( <i>n</i> = 64)	-	0.02	0.02	0.02	-	-	0	0	1	0.25	7	1.76
Baby snacks ( <i>n</i> = 62)	-	0.04	0.01	0.02	-	-	0	0	0	0.00	6	1.50
Dairy ( <i>n</i> = 60)	-	-	0.01	0.02	-	-	-	-	0	0.00	1	0.25
TOTAL ( <i>n</i> = 397)					-	-	-	-	6	1.50	18	4.53

*n*—number of samples, %—percentage of exceeded samples.

The average Hg level in all samples was  $3.16 \pm 0.16 \mu\text{g}/\text{kg}$ . The lowest value was recorded in the fruit and cereal bar (the main ingredients of which are grape juice, oatmeal, apple juice) at  $0.005 \mu\text{g}/\text{kg}$ , while the highest Hg value was  $37.25 \mu\text{g}/\text{kg}$  in a lunch based on vegetables, rice, and hake. Among all categories, the lowest amounts of Hg were found in snacks “for the hand” ( $2.36 \pm 1.69 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) and in the subcategory of vegetable mousses ( $2.26 \pm 0.83 \mu\text{g}/\text{kg}$ ). The highest amounts of Hg were recorded in porridges ( $4.20 \pm 0.35 \mu\text{g}/\text{kg}$ ), in particular in gluten-free ( $4.89 \pm 0.69 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) and gluten ( $4.86 \pm 0.60 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) porridges; in the subcategories, the highest levels were recorded in fish dinners (as much as  $9.213 \pm 0.571 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) and fruit and vegetable mousses ( $5.748 \pm 1.118 \mu\text{g}/\text{kg}$ ). In accordance with European Commission Regulation (EU) 2018/73 of 16 January 2018 amending Annexes II and III to Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council, regarding the maximum residue levels for Hg

compounds in or on certain products, the maximum allowable level of Hg is: 5 µg/kg for fish, 10 µg/kg for cereal, baby food, fruit and vegetables, meat, and milk, and 20 µg/kg for juices [16]. Table 3 shows the number of samples that exceeded the maximum allowable limits of Hg and Pb. The limit for Hg was exceeded in 6 samples, which constitutes 1.5% of all samples. The highest amount of the exceeded Hg limit was recorded in lunches (three samples). The daily limit was not exceeded in porridges, snacks for children, and dairy products. There were the same samples for Hg below the limit of detection. The median Hg content results with quartile 1 (Q1) and quartile 3 (Q3) in the analyzed product groups are presented in Figure 1C.

The mean concentration of Pb in all samples was  $9.27 \pm 0.44$  µg/kg, with the lowest recorded concentration being 0.46 µg/kg in children's juice (based on apple, grape, aronia, raspberry). The highest Pb value was 138.99 µg/kg, found in a mousse (based on apple, cottage cheese, and grape juice). Among all categories, the lowest Pb level was recorded in drinks for children ( $1.14 \pm 0.98$  µg/kg). The highest concentrations of Pb were found in snacks "for the hand" ( $12.80 \pm 7.56$  µg/kg), porridges ( $8.09 \pm 0.70$  µg/kg), mousses for children ( $7.97 \pm 0.02$  µg/kg), especially fruit-based mousses ( $9.40 \pm 4.06$  µg/kg), and in children's dinners ( $7.55 \pm 0.41$  µg/kg). According to the regulations of the European Commission, the maximum permissible level of Pb is: 10 µg/kg for meat, 20 µg/kg for cereal, baby food and milk, 30 µg/kg for fish, 50 µg/kg for juices, and 100 µg/kg for fruit and vegetables [20]. The median Pb content results with quartile 1 (Q1) and quartile 3 (Q3) in the analyzed product groups are presented in Figure 1D. There were 10 samples for Pb below the limit of detection.

Detailed content of toxic elements in individual groups and subgroups is presented in Table S1 (Supplementary Materials).

There were 18 exceedances in the content of the daily Pb limit (4.53%). The highest Pb content was recorded in drinks (seven samples) and baby snacks (six samples). The lowest Pb exceedances were recorded in dairy products (one sample), mousses (one sample), and dinners (one sample).

Table 4 presents statistically significant differences in the content of toxic elements in the analyzed products. The most statistically significant differences were noted in the As content. The As content in lunches differed statistically significantly in drinks ( $p < 0.01$ ). Differences were also noted in porridges and drinks ( $p < 0.01$ ), mousses and drinks ( $p < 0.01$ ), baby snacks and drinks ( $p < 0.01$ ), dairy and drinks ( $p < 0.01$ ), and groups: poultry dinners and fish dinners ( $p < 0.001$ ), beef dinners and fish dinners ( $p < 0.001$ ), beef dinners and fish dinners ( $p < 0.001$ ), pork dinners and fish dinners ( $p < 0.001$ ), rabbit dinners and fish dinners ( $p < 0.001$ ), vegetarian dinners and fish dinners ( $p < 0.001$ ), and milk porridge and gluten-free cereal ( $p < 0.001$ ).

**Table 4.** Significant statistical differences in the analyzed product groups.

Toxic Elements	Analyzed Food Group	p-Value
As	Dinners—drinks	<0.01
	Porridges—drinks	<0.01
	Mousses—drinks	<0.01
	Baby snacks—drinks	<0.01
	Dairy—drinks	<0.01
	Poultry dinners—fish dinners	<0.001
	Beef dinners—fish dinners	<0.001
	Pork dinners—fish dinners	<0.001
	Rabbit dinners—fish dinners	<0.001
	Vegetarian dinners—fish dinners	<0.001
Milk porridge—gluten-free cereal	<0.001	
Hg	Mousses—dairy	<0.05
	Pork dinners—vegetarian dinners	<0.05
Pb	Fruit drinks and water—fruit juices	<0.01

There were also statistically significant differences in the Hg content in mousses and dairy ( $p < 0.05$ ), as well as in the pork dinners and vegetarian dinners subgroup ( $p < 0.05$ ). For the Pb content, one difference was found between fruit drinks and water–fruit juices ( $p < 0.01$ ). In this study, no statistically significant differences in the Cd content were found.

### 3.2. Risk Assessment

The health indicators of all analyzed products are summarized in Table 5. In the case of PTWI and BMDL indicators, no exceedances were found in the tested assortment.

**Table 5.** Average value of the ratios: EDI, EWI, PTWI, and BMDL in all analyzed groups.

Type of Products	Elements	EDI (µg/Day)	EWI (µg/Week)	PTWI (%PTWI) (µg/kg/BW/Week)	BMDL (%BMDL) (µg/kg/BW/Day)
Baby dinners ( <i>n</i> = 102)	As	0.419 ± 0.909	2.938 ± 6.368	NA	0.042 ± 0.091 (1.40%)
	Cd	0.515 ± 0.744	3.607 ± 5.205	0.362 ± 0.523 (5.17%)	NA
	Hg	0.544 ± 0.579	3.804 ± 4.049	0.382 ± 0.407 (23.89%)	NA
	Pb	1.651 ± 0.922	11.563 ± 6.458	NA	0.166 ± 0.092 (33.2%)
Porridges ( <i>n</i> = 50)	As	0.051 ± 0.054	0.362 ± 0.380	NA	0.005 ± 0.005 (0.17%)
	Cd	0.064 ± 0.065	0.449 ± 0.459	0.045 ± 0.046 (0.64%)	NA
	Hg	0.097 ± 0.057	0.681 ± 0.402	0.068 ± 0.040 (4.28%)	NA
	Pb	0.187 ± 0.114	1.313 ± 0.804	NA	0.018 ± 0.011 (3.77%)
Mousses ( <i>n</i> = 58)	As	0.021 ± 0.017	0.148 ± 0.119	NA	0.002 ± 0.001 (0.07%)
	Cd	0.159 ± 0.226	1.0113 ± 1.583	0.111 ± 0.159 (1.59%)	NA
	Hg	0.381 ± 0.239	2.669 ± 1.677	0.268 ± 0.168 (16.76%)	NA
	Pb	0.892 ± 2.008	6.245 ± 14.056	NA	0.08 ± 0.02 (17.93%)
Baby drinks ( <i>n</i> = 64)	As	0.037 ± 0.086	0.264 ± 0.607	NA	0.003 ± 0.008 (0.12%)
	Cd	0.078 ± 0.165	0.548 ± 1.551	0.055 ± 0.116 (0.78%)	NA
	Hg	0.122 ± 0.080	0.858 ± 0.560	0.086 ± 0.056 (5.39%)	NA
	Pb	0.553 ± 0.320	3.874 ± 2.242	NA	0.055 ± 0.032 (11.12%)
Snacks ( <i>n</i> = 62)	As	0.242 ± 0.870	1.697 ± 6.091	NA	0.024 ± 0.087 (0.81%)
	Cd	0.252 ± 0.226	1.767 ± 1.585	0.177 ± 0.159 (2.53%)	NA
	Hg	0.192 ± 0.136	1.348 ± 0.958	0.135 ± 0.096 (8.46%)	NA
	Pb	1.053 ± 0.610	7.375 ± 4.276	NA	0.105 ± 0.061 (21.17%)
Dairy ( <i>n</i> = 60)	As	0.007 ± 0.034	0.054 ± 0.233	NA	0.000 ± 0.003 (0.02%)
	Cd	0.063 ± 0.081	0.436 ± 0.563	0.044 ± 0.056 (0.63%)	NA
	Hg	0.391 ± 0.668	2.726 ± 4.641	0.275 ± 0.470 (17.21%)	NA
	Pb	1.168 ± 1.491	8.047 ± 10.397	NA	0.117 ± 0.149 (23.47%)
TOTAL ( <i>n</i> = 397)	As	0.162 ± 0.598	1.139 ± 4.196	NA	0.016 ± 0.060 (0.54%)
	Cd	0.224 ± 0.439	1.571 ± 3.076	0.157 ± 0.309 (2.25%)	NA
	Hg	0.314 ± 0.438	2.204 ± 3.070	0.221 ± 0.308 (13.84%)	NA
	Pb	1.006 ± 1.192	7.046 ± 8.348	NA	0.101 ± 0.119 (20.23%)

BMDL—the benchmark dose lower confidence limit, EDI—estimated daily intake, EWI—estimated weekly intake, NA—not applicable, PTMI—provisional tolerable monthly intake, PTWI—provisional tolerable weekly intake.

Baby dinners have the highest EDI and EWI values for As and Cd ( $EDI_{As} = 0.419 \pm 0.909$  mg/day,  $EWI_{As} = 2.938 \pm 6.368$  mg/week,  $EDI_{Cd} = 0.515 \pm 0.744$ ,  $EWI_{Cd} = 3.607 \pm 5.205$ ). The estimated daily consumption was the lowest in dairy products in the case of As ( $EDI = 0.007 \pm 0.034$  mg/day,  $EWI = 0.054 \pm 0.233$  mg/week), while in the case of Cd, this was in dairy products ( $EDI = 0.063 \pm 0.081$  mg/day,  $EWI = 0.436 \pm 0.563$  mg/week) and porridges ( $EDI = 0.064 \pm 0.065$  mg/day,  $EWI = 0.449 \pm 0.459$  mg/week). Baby dinners showed the highest value of EDI and EWI in the case of Pb ( $EDI = 1.651 \pm 0.922$  mg/day,  $EWI = 11.563 \pm 6.458$  mg/week), while in the case of Hg, the highest value was found in mousses ( $EDI = 0.381 \pm 0.239$  mg/day,  $EWI = 2.669 \pm 1.677$  mg/week). The lowest EDI value for Hg and Pb was determined in porridges ( $EDI_{Hg} = 0.097 \pm 0.057$  mg/day,  $EWI_{Hg} = 0.681 \pm 0.402$  mg/week,  $EDI_{Pb} = 0.187 \pm 0.114$  mg/day,  $EWI_{Pb} = 1.313 \pm 0.804$  mg/week). In the case of the PTWI and BMDL indicators, the specified limits were not exceeded (Table 5). The PTWI in all ready-to-eat samples for Cd was  $0.157 \pm 0.308$  µg/kg, which was 2.25% of the norm; for Hg, it was  $0.221 \pm 0.308$  µg/kg, which was 13.84% of the norm. The  $BMDL_{As}$



was  $0.016 \pm 0.06 \mu\text{g}/\text{kg}$ , which was 0.54% of the norm, while in the case of Pb, it was  $0.101 \pm 0.119 \mu\text{g}/\text{kg}$  (20.23% of the norm).

The estimated THQ and CR ratios for the analyzed toxic elements are presented in Table 6. The highest values of the THQ index for all elements were recorded for Hg in dairy products ( $1.14 \times 10^{-7} \pm 6.18 \times 10^{-7}$ ). In the case of As, the highest value of the index was  $1.41 \times 10^{-7} \pm 3.04 \times 10^{-7}$ , and these levels were found in baby dinners. In the case of Cd, the highest THQ was recorded in porridges for children, and THQ was  $1.31 \times 10^{-8} \pm 2.01 \times 10^{-8}$ . In the case of Hg, it was  $1.01 \times 10^{-7} \pm 1.19 \times 10^{-7}$ , found in dinners for children. In the case of Pb, it was porridges  $1.01 \times 10^{-7} \pm 1.19 \times 10^{-7}$ . The norms of THQ values were not exceeded in the tested assortment, therefore there is no increased risk of non-carcinogens effect. The CR index was not exceeded, so the research shows that the risk of developing cancer as a result of consuming the analyzed products is low.

**Table 6.** Estimated values of THQ and CR indices of toxic elements (As, Cd, Hg, and Pb) in the analyzed food products.

Type of Products	THQ X ± SD (Min–Max)			
	As	Cd	Hg	Pb
Baby dinners (n = 102)	$1.41 \times 10^{-7} \pm 3.04 \times 10^{-7}$ ( $9.61 \times 10^{-7}$ – $1.26 \times 10^{-6}$ )	$2.26 \times 10^{-8} \pm 4.41 \times 10^{-8}$ ( $1.75 \times 10^{-9}$ – $1.56 \times 10^{-6}$ )	$1.01 \times 10^{-7} \pm 1.19 \times 10^{-7}$ ( $1.36 \times 10^{-10}$ – $8.56 \times 10^{-7}$ )	$1.06 \times 10^{-7} \pm 1.46 \times 10^{-7}$ ( $1.75 \times 10^{-9}$ – $1.56 \times 10^{-6}$ )
Porridges (n = 50)	$1.82 \times 10^{-8} \pm 1.82 \times 10^{-8}$ ( $1.23 \times 10^{-8}$ – $2.44 \times 10^{-6}$ )	$1.31 \times 10^{-8} \pm 2.01 \times 10^{-8}$ ( $1.82 \times 10^{-8}$ – $2.31 \times 10^{-6}$ )	$1.06 \times 10^{-7} \pm 1.46 \times 10^{-7}$ ( $7.66 \times 10^{-10}$ – $8.65 \times 10^{-7}$ )	$1.01 \times 10^{-7} \pm 1.19 \times 10^{-7}$ ( $1.88 \times 10^{-8}$ – $8.65 \times 10^{-7}$ )
Mousses (n = 58)	$7.11 \times 10^{-9} \pm 5.70 \times 10^{-9}$ ( $1.31 \times 10^{-8}$ – $2.79 \times 10^{-6}$ )	$2.13 \times 10^{-8} \pm 2.44 \times 10^{-8}$ ( $1.14 \times 10^{-11}$ – $8.78 \times 10^{-7}$ )	$1.06 \times 10^{-7} \pm 1.19 \times 10^{-7}$ ( $1.36 \times 10^{-10}$ – $8.65 \times 10^{-7}$ )	$3.21 \times 10^{-7} \pm 2.88 \times 10^{-7}$ ( $7.03 \times 10^{-9}$ – $8.55 \times 10^{-6}$ )
Baby drinks (n = 64)	$1.29 \times 10^{-8} \pm 2.92 \times 10^{-8}$ ( $1.31 \times 10^{-8}$ – $1.47 \times 10^{-6}$ )	$3.06 \times 10^{-8} \pm 4.40 \times 10^{-8}$ ( $8.54 \times 10^{-11}$ – $4.46 \times 10^{-7}$ )	$1.98 \times 10^{-7} \pm 1.70 \times 10^{-7}$ ( $2.06 \times 10^{-10}$ – $4.50 \times 10^{-6}$ )	$2.98 \times 10^{-7} \pm 3.17 \times 10^{-7}$ ( $1.05 \times 10^{-9}$ – $1.26 \times 10^{-6}$ )
Snacks (n = 62)	$8.12 \times 10^{-8} \pm 2.91 \times 10^{-7}$ ( $5.95 \times 10^{-9}$ – $2.31 \times 10^{-6}$ )	$4.99 \times 10^{-8} \pm 1.10 \times 10^{-8}$ ( $8.52 \times 10^{-11}$ – $9.89 \times 10^{-7}$ )	$1.76 \times 10^{-7} \pm 4.46 \times 10^{-7}$ ( $6.11 \times 10^{-11}$ – $1.05 \times 10^{-7}$ )	$4.51 \times 10^{-7} \pm 1.19 \times 10^{-7}$ ( $1.46 \times 10^{-10}$ – $1.16 \times 10^{-6}$ )
Dairy (n = 60)	$2.66 \times 10^{-9} \pm 1.127 \times 10^{-8}$ ( $28.84 \times 10^{-10}$ – $2.01 \times 10^{-7}$ )	$2.63 \times 10^{-9} \pm 2.33 \times 10^{-8}$ ( $1.47 \times 10^{-11}$ – $1.46 \times 10^{-7}$ )	$1.14 \times 10^{-7} \pm 6.18 \times 10^{-7}$ ( $1.99 \times 10^{-10}$ – $8.21 \times 10^{-7}$ )	$1.91 \times 10^{-7} \pm 1.19 \times 10^{-7}$ ( $1.75 \times 10^{-9}$ – $1.56 \times 10^{-7}$ )
TOTAL (n = 397)	$5.44 \times 10^{-8} \pm 2.01 \times 10^{-8}$ ( $28.84 \times 10^{-10}$ – $1.26 \times 10^{-6}$ )	$2.61 \times 10^{-8} \pm 4.42 \times 10^{-8}$ ( $1.47 \times 10^{-11}$ – $1.56 \times 10^{-6}$ )	$1.65 \times 10^{-7} \pm 1.47 \times 10^{-7}$ ( $6.11 \times 10^{-11}$ – $4.50 \times 10^{-6}$ )	$2.82 \times 10^{-7} \pm 2.21 \times 10^{-7}$ ( $1.46 \times 10^{-10}$ – $1.16 \times 10^{-6}$ )
Mean CR	$2.44 \times 10^{-7} \pm 8.97 \times 10^{-7}$ ( $2.07 \times 10^{-7}$ – $1.03 \times 10^{-5}$ )	$1.41 \times 10^{-6} \pm 2.77 \times 10^{-6}$ ( $5.34 \times 10^{-6}$ – $2.79 \times 10^{-5}$ )	NA	$8.56 \times 10^{-9} \pm 1.01 \times 10^{-8}$ ( $1.48 \times 10^{-10}$ – $1.32 \times 10^{-7}$ )

CR—cancer risk, Max—maximum, Min—minimum, NA—not applicable, SD—standard deviation, THQ—target hazard quotient, X—mean.

The analyzed products were also divided according to the intended use of the given products in terms of age category: for children 6–12 months, for children under 12 months, and products without an age declaration. Table 7 presents the characteristics of age groups in terms of mean, median, and other statistical parameters. The age declaration group includes dinners, porridges, and mousses. The remaining product groups (drinks, snacks, and dairy products for children) are included in the category without an age declaration.

**Table 7.** The average content and median of toxic elements in the studied groups and significant statistical differences, taking into account the intended use of products for age groups.

Type of Products	Elements	n	Average Content of Analyzed Parameters				Statistical Differences		
			X ± SD (µg/kg)	Min–Max (µg/kg)	Me (µg/kg)	Q1–Q3 (µg/kg)	Toxic Elements	Analyzed Food Group	p-Value
for children 6–12 months (a)	As	107	2.01 ± 3.67	0.00–16.97	0.44	0.17–1.72	As	a/b b/c	<0.01 <0.001
	Cd		2.22 ± 3.14	0.31–20.15	1.33	0.68–2.02			
	Hg		3.20 ± 2.86	0.01–9.88	2.05	0.83–5.28			
	Pb		7.82 ± 4.76	0.52–32.28	6.70	5.25–9.89			
for children under 12 months (b)	As	104	1.01 ± 2.54	0.00–14.63	0.19	0.16–0.50	Cd	a/c b/c	<0.001 <0.01
	Cd		2.17 ± 2.78	0.16–13.34	1.15	0.64–2.20			
	Hg		3.09 ± 2.22	0.17–9.12	2.53	1.240–4.47			
	Pb		7.74 ± 13.55	0.77–134.00	5.81	4.72–7.45			
without an age declaration (c)	As	186	1.35 ± 6.42	0.00–84.71	0.20	0.00–0.66	Pb	a/b a/c b/c	<0.05 <0.001 <0.001
	Cd		1.99 ± 3.23	0.14–18.54	0.63	0.27–2.24			
	Hg		2.68 ± 1.86	0.00–9.12	2.11	1.27–3.74			
	Pb		10.95 ± 7.02	0.460–48.18	9.38	7.18–12.09			

a—products for children 6–12 months, b—products for children under 12 months, c—products without an age declaration, Max—maximum, Me—median, Min—minimum, SD—standard deviation, Q1—quartile 1, Q3—quartile 3, X—mean.

The highest average contents of As, Cd, and Hg were recorded in the group of products intended for children aged 6–12 months (As:  $2.01 \pm 3.67$  µg/kg, Cd:  $2.22 \pm 3.14$  µg/kg, Hg:  $3.20 \pm 2.86$  µg/kg). In the case of Pb, it was in the group of products without age declaration ( $10.95 \pm 7.02$  µg/kg). The highest mean content of As was recorded in the group of products for children 6–12 months ( $2.01 \pm 3.67$  µg/kg), and the lowest for children under 12 months ( $1.01 \pm 2.54$  µg/kg). The highest mean Cd content was observed in the group of products for children aged 6–12 months ( $2.22 \pm 3.14$  µg/kg), and the lowest in the group of products without declaration ( $1.98 \pm 3.23$  µg/kg), although these differences were small (the statistical significance of the analyzed groups was presented in Table 7). The highest mean Hg content was recorded in the group of products intended for children 6–12 months ( $3.20 \pm 2.86$  µg/kg), and the lowest mean in the group of products without declaration ( $2.68 \pm 1.86$  µg/kg), while there were not statistically significant groups (Table 7). In the case of Pb, the highest mean was recorded in the group of products without age declaration ( $10.95 \pm 7.02$  µg/kg), and in the remaining groups the mean was very similar (in the group of products for children 6–12 months:  $7.82 \pm 4.76$  µg/kg, in the group above 12 months:  $7.74 \pm 13.55$  µg/kg).

The most statistically significant differences were recorded in the case of Pb. The Pb content differed statistically significantly in the group of products intended for children aged 6–12 months and over 12 months ( $p < 0.01$ ); in the group of 6–12 months and in the first group without age declaration ( $p < 0.001$ ); in the group of products above 12 months month and the product group without age declaration ( $p < 0.001$ ). In the case of As, statistical significance was noted in the groups of products for children aged 6–12 months and over 12 months of age ( $p < 0.01$ ); and in the group of 6–12 months in the group without age declaration ( $p < 0.001$ ). The content of Cd differed statistically significantly in the group of products intended for children 6–12 months, the group without age declaration ( $p < 0.001$ ); and in the group over 12 months of age, and the group without age declaration ( $p < 0.01$ ).

#### 4. Discussion

In our study, we found that toxic elements are present in ready-to-eat baby foods, and that some foods contain Hg and Pb levels of concern.

Our research found that the permissible daily limit was not exceeded for As. In a Spanish study, As was detected in three samples, one of which exceeded the acceptable

toxicological standards [23]. The study by Rothenberg et al., (2017) examined the content of As in rice products for children. These products had a higher content of the tested elements compared to wheat and oat products, but they did not exceed the permissible standard [24]. A similar study by Gu et al., (2020) assessed the As content in products for infants and young children. Despite the fact that total As was found in 88% of the samples, it did not exceed the total permissible content, while 75% of the samples exceeded the standard for inorganic As for infants and young children [14]. In turn, Ljung et al., (2011) assessed the content of toxic elements in, among others, products based on milk, oats, spelt, and whole grain rice. The researcher showed that rice-based products were the largest source of As (up to 30 µg/kg) [25]. A Nigerian study (2020) showed that the tolerable daily intake of As was exceeded in baby food. The mean daily consumption of As was 437.1 µg/kg (771% PTDI). Abnormalities for As have been observed in products containing rice [26]. Rice is the most abundant product containing As. In Poland, rice is consumed rarely, and among children under 3 years of age, the average consumption of rice is 17.9 g/day. The range of rice-based products on the Polish market is relatively small, and they are not so widely consumed by children, so should not pose a threat to children's health.

In our own study, the maximum allowable content was not exceeded for Cd. Gardener et al., (2019) showed that Cd was found in 57% of samples. Out of 91 trials of baby food, 14% exceeded the acceptable limits for Cd consumption [15]. The study by Kim et al., (2014) assessed the exposure to toxic elements in the daily food ration. The mean concentration of Cd in the diet was  $0.38 \pm 0.20$  µg/kg BW/day, respectively. In the case of Cd, the reference value was exceeded (42%) [27]. De Castro et al., (2010) Cd concentrations were higher than in our study, but did not exceed the acceptable limits (109 µg/kg) [28]. In the study (2019), the mean daily exposure to Cd was 0.43 µg/kg BW/day [29]. In our study, the average daily consumption for Cd was lower ( $0.224 \pm 0.439$  µg/kg). In the study by Winiarska-Mleczan (2012), the average consumption in one meal (ready-made dessert for children) covers 2% of the PTDI of Cd, while the average consumption of a bottle of drink for children is 2% of the PTDI of Cd [30]. In a study, Chen et al., (2021) showed that, among all age groups, children up to 5 years old showed the highest concentrations of Cd and the highest risk of health risk. The total Cd exposure index for children aged 0.5–5 years was 0.00325, and the Cd level was 3.9 times the PTMI norm on Cd, suggesting that children are at an unacceptable level of health risk. [31]. This is a study carried out in China, where there are different eating habits than in Europe (e.g., higher consumption of e.g., rice), which may be the reason for such a high rate. An Egyptian study analyzed the content of Cd in dairy products consumed by children. The estimated daily intake for Cd was 0.33 µg/kg bw/day, which is 39.8% of the TDI [32]. In comparison, in our study, the EDI for Cd in dairy products was higher and amounts to  $0.43 \pm 0.56$  µg/kg. In our study, the highest Cd value was found for the salmon-based children's dinner (20.15 µg/kg), which may suggest greater caution in terms of children's consumption of fish. Among different groups, the highest value of Cd was recorded in drinks for children. The reason for high concentrations of Cd may be the high presence of Cd in the water due to the affinity for its accumulation [12]. The presence of Cd in children's products should be of concern, since Cd is neurotoxic in amounts lower than the reference doses, which means that any dose may have adverse health effects and impair children's development.

In our study, the maximum allowable content was exceeded for Hg in 1.5% of samples analyzed. In the study by Guerin et al., (2018), the Hg content of 291 products for infants and young children, as well as conventional foods consumed by this group, on the French market was determined. This element was detected in 7.6% of all samples, while none of the products exceeded the permitted Hg limit [33]. Higher Hg concentrations were also found in rice products, as compared to oat products [24]. In our study, the product with the highest Hg content was based on rice and hake. In the study of Spungen et al., (2019), the mean daily exposure to Hg was 0.12 µg/kg bw/day in children aged 1–3 years old [29]. In our study, the estimated daily intake was higher ( $0.31 \pm 0.44$  µg/kg). The study by Martins et al., (2013) assessed the exposure of infants and young children to Hg derived



from processed cereal-based foods and infant food (vegetable-, meat-, fish-, and fruit-based meals). It has been shown that the average consumption of the analyzed products is from 0.2 to 0.4% of the PTWI of Hg [34]. In our study, the coverage of PTWI of Hg is significantly higher (9.6%), but it should not be a cause for concern. The study by Igwaze et al., (2020) showed that mean daily consumption of Hg was 23.7 µg/kg (41.8% of PTDI). The mean daily Hg intake was below the PTDI value [26]. In a Spanish study evaluating infant dietary Hg exposure, the EDI for Hg was shown to be significantly higher, at 1.5 µg/kg BW/day (EWI = 11 BW/day). In our study, the EDI for Hg was 0.31 ± 0.43 µg/kg BW/day (EWI = 2.20 ± 0.07 µg/kg) [35]. Moreover, it is particularly interesting for public health that the tested samples showed exceeded Hg concentrations in six samples, including three categorized as children's lunches, two of which contained fish. This should be of concern, especially in view of the potential risks posed by frequent consumption of fish-based products. Hg damages the central nervous system of children, impairs the immune function, and leads to dysfunction of the children's bloodstream.

In our study, the maximum allowable content was exceeded for Pb in 4.5% of samples. The Gardener et al., (2019) study assessed the content of Pb in products consumed by infants and young children (infant food, cereals, drinks, pouches). Pb was found in 37% of samples [15]. In the study by Škrbić et al., (2016) which assessed the content of toxic elements in 90 products for children (porridge fruit, porridge vegetable, meat and fish, porridge, corn and rice porridge, and yogurt-based products), Pb was detected in two products [23]. Ljung et al., (2011) showed that Pb was found in rice-based products (13 µg/kg) [25]. In the study by Kim et al., (2014), the mean concentration of Pb was 0.47 ± 0.14 µg/kg BW/day and 35% of samples exceeded the maximum allowable content limit [27]. In a study by Rasic Misic et al., (2022), Pb was detected in 31% of baby and toddler juice and chafing samples. The mean concentrations of Pb were 12.0 µg/kg in fruit-based food, 29.0 µg/kg in vegetable-based food, and 34.50 µg/kg in meat-based food. In all juices, the Pb value was higher than the maximum concentration in food for young children (0.05 mg/kg). In our research, similar conclusions were noted, since the most exceedances of the permissible daily norm were recorded in beverages—1.76% of all products (7 samples). In our study, mean Pb concentrations were also high in fruit-based mousses (9.40 ± 4.06 µg/kg). Higher Pb concentrations in fruit and vegetable products may come from contaminated soil or production processes [36]. The median of Pb in baby products from Brazil is significantly higher than in our research. It was shown that the median Pb was 33 µg/kg; therefore, the FAO/WHO standards were exceeded in 63% of Pb [28]. In the French study assessing the Pb content in food for infants and children, Pb was found in most of the analyzed samples (mean 2.4 µg/kg). The highest concentrations of Pb were found in the group of biscuits and bars (9.6 µg/kg), croissants (8.2 µg/kg), and cake and bread (5.5 µg/kg). Among all of the products, the highest content was found in chocolate biscuits (26.2 µg/kg), chocolate flakes for babies (19.7 µg/kg), and spinach (16.1 µg/kg). The products containing chocolate were characterized by significantly higher Pb concentrations [37]. In another Polish study (2012), the average consumption of desserts for children covers 2.2% of the PTDI of Pb, while the average consumption of a bottle of a drink for children is 13.6% of the PTDI of Pb [33]. In a Japanese study (2019), the weekly Pb exposure for children aged 1–3.5 years was 3.28 ± 0.26 µg/kg BW/week. Pb concentration was higher in children than in adults, but it did not exceed the acceptable standard [38]. In another study, the content of Pb was 1.27 µg/kg BW/day, which is 35.3% of the TDI. In our study, the EDI values for Pb are comparable (1.006 ± 1.192 µg/kg) [37]. In 18 samples, Pb was above the threshold values, and the highest amounts were found in drinks (7) and snacks (6). Pb contamination can come from fruits and grains, which are the main ingredient of these products. In the study by Kim et al, Pb was also present in high concentrations in fruits [27]. The source of Pb can be soil and water from highly industrialized areas. Fruit and grains are one of the main components of the diet of infants and young children, so they should not be abandoned, but it might be worthwhile to encourage children to be more varied in their diet to minimize the risk of possible Pb



exposure. Exposure to this element disturbs the development of the central nervous system, and causes problems with concentration; thus, it is important to avoid chronic exposure.

Our results indicate that baby food may be safe, and the estimated health risk indicators did not show an increased health risk in terms of exposure of toxic elements in ready-made products for children. However, it is worrying that some products have exceeded the daily limit for Pb (18 samples) and Hg (6 samples). In Poland, around 60% of parents use convenience food, which should cause concern, especially in children, who often base their nutrition on ready-to-eat foods [39].

According to our results, it is worth paying attention to ready-to-eat products containing fish. In the study, children's meals containing salmon had the highest levels of Cd (20.15 µg/kg), and those containing hake had the highest levels of Hg (37.25 µg/kg). Among the assortment of lunches intended for children over 1 year of age was a ready-made tuna dinner that should not be eaten at all in this age group. Some fish products are especially recommended for children (salmon, cod, mackerel, eel), while, due to the large accumulation of pollutants harmful to health, perch, shark, swordfish, and tuna are not recommended. The consumption of fish by children brings many health benefits, so we should not exclude them in the diet of children, while parents should pay attention to the selection of fish species that do not pose a health risk [40].

In our study, cereal products (especially those containing rice and rice products) contained high amounts of As (rice bar 84.71 µg/kg, baby porridge group, waffles and crisps group). Cereals for children and snacks were characterized by one of the higher concentrations of toxic elements (in the case of As, gluten-free and gluten-free cereals; in the case of Cd, waffles/crisps; in the case of Hg, porridges; in the case of Pb, snacks "for the hand").

This allows us to conclude that cereal products easily accumulate toxic elements and, if consumed in large amounts, may pose a health hazard to infants and young children.

An unexpected observation is the high contribution of Cd in the group of beverages for children ( $4.17 \pm 5.98$  µg/kg), and the exceedance of the daily limit of Pb content in beverages (7 samples, 1.76% of all trials). This may result from contamination of the water used for the production of beverages or flavored waters. In Poland, there is an obligation to regularly test water for, e.g., toxic elements by provincial sanitary and epidemiological stations. This water has the correct parameters, while the problem may be an outdated sewage system located, for example, close to a factory, from which harmful substances, including toxic elements, may be released. Table 8 shows the content of toxic elements in baby food compared to the results of other authors.

**Table 8.** The content of toxic elements in baby food shown in studies by other authors.

Type of Products	As (µg/kg)	Cd (µg/kg)	Hg (µg/kg)	Pb (µg/kg)	Reference
Baby food *	NA	Me = 2.8 Max = 103.9	NA	Max = 183.6	[15]
Baby desserts	NA	Me = 0.71 Max = 14.90	NA	Me = 2.14	[30]
Baby juices	NA	Me = 0.80 Max = 1.34	NA	Max = 5.11	
Baby dinners	NA	Me = 8.31 Max = 28.2	NA	Me = 20.6 Max = 41.0	
Baby food	<LOD Max = 0.89	<LOD Max < LOD	NA NA	<LOD <LOD	[23]
Baby dinners	NA	NA	Me = 0.80 Max = 7.40	NA	[33]
Cereals food	NA	NA	Me = 0.58 Max = 1.0	NA	

Table 8. Cont.

Type of Products	As ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Cd ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Hg ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Pb ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Reference
Rise baby food	Me = 0.088 Max = 0.150	NA NA	Me = 0.062 Max = 0.3	NA NA	[24]
Rise baby food	NA	NA	X = $0.94 \pm 0.47$	NA	[14]
Milk-based food	X = $0.23 \pm 0.05$	X = $0.23 \pm 0.05$	NA	X = $1.2 \pm 0.19$	[25]
Spelt based food	X = $3.8 \pm 0.05$	X = $2.4 \pm 0.11$	NA	X = $1.8 \pm 0.12$	
Oat-based food	X = $2.4 \pm 0.19$	X = $3.3 \pm 0.14$	NA	X = $3.1 \pm 0.23$	
Rice-based food	X = $1.7 \pm 0.04$	X = $33 \pm 0.56$	NA	X = $1.2 \pm 0.12$	
Baby food	NA	X = $0.38 \pm 0.2$	X = $0.22 \pm 0.08$	X = $0.47 \pm 0.14$	[27]
Cereal-based food	NA	NA	Me = 0.50	NA	[34]
Baby food	NA	NA	Me = 0.40	NA	
Baby food	NA	Me = 33.0	NA	Me = 109	[28]
Milk-based food	NA	X = $0.05 \pm 0.005$	NA	X = $0.21 \pm 0.02$	[32]
Milk-based food	NA	NA	Me = 0.03	NA	[41]
Fruit-based food				X = 12.0	[36]
Vegetable-based food	<LOD	<LOD	NA	X = 29.0	
Meat based food				X = 34.50	
Cereal-based food	X = $0.68 \pm 0.67$	NA	NA	NA	[26]
Baby food				X = $3.4 \pm 2.01$	[37]
Milk-based food				X = $1.11 \pm 0.21$	
Cereal-based food	NA	NA	NA	X = $1.40 \pm 1.95$	
Baby mouses				X = $2.15 \pm 2.08$	
Baby drinks				X = $3.72 \pm 2.31$	

\* Baby food—vegetable, meat, fish, fruit-based samples, LOD—limits of detection, Max—maximum, Me—median, Min—minimum, NA—not applicable, X—mean.

## 5. Conclusions

The range of ready-to-eat products for children aged 0.5–3 years is a source of toxic elements, but most of the assessed products shown do not pose a health risk. In our study, the estimated health risk indicators did not show an increased health risk in terms of exposure to toxic elements in ready-made products for children. In some samples, Hg and Pb concentrations were exceeded, which may suggest that these products are not completely safe for children. There is a need for monitoring in ready-to-eat products intended for children aged 0.5–3 years. Particular attention should be paid to children's consumption of fish-based products, cereal products, snacks, and flavored drinks and waters. These product groups should be subject to special control with regard to the health safety of children already at the production stage.

**Supplementary Materials:** The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/nu14112325/s1>, Table S1: The content of toxic elements in tested products.

**Author Contributions:** Conceptualization, K.S. and A.P.-J.; methodology, J.B., J.S., M.G. and K.M.; software, A.Ž.; formal analysis, A.Ž., K.S. and A.P.-J.; investigation, A.Ž.; resources, A.Ž.; data curation, A.Ž. and A.P.-J.; writing—original draft preparation, A.Ž.; writing—review and editing, K.S. and A.P.-J.; visualization, A.Ž. and A.P.-J.; supervision, K.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by Medical University of Białystok, funding number: SUB/2/DN/21/001/2216 and SUB/2/DN/22/004/2216.

**Institutional Review Board Statement:** Not applicable.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** Detailed data are available from the authors.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

## References

1. Patriarca, M.; Menditto, A.; Rossi, B.; Lyon, T.D.B.; Fell, G.S. Environmental exposure to metals of newborns, infants and young children. *Microchem. J.* **2000**, *67*, 351–361. [CrossRef]
2. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. *IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum.* **2012**, *100*, 11–465.
3. Gundert-Remy, U.; Damm, G.; Foth, H. High exposure to inorganic arsenic by food: The need for risk reduction. *Arch. Toxicol.* **2015**, *89*, 2219–2227. [CrossRef] [PubMed]
4. Qing, Y.; Yang, J.; Chen, Y.; Shi, C.; Zhang, Q.; Ning, Z.; Yu, Y.; Li, Y. Urinary cadmium in relation to bone damage: Cadmium exposure threshold dose and health-based guidance value estimation. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2021**, *226*, 112824. [CrossRef] [PubMed]
5. Iwegbue, C.M.A.; Onyonyewoma, U.A.; Bassey, F.I.; Nwajei, G.E.; Bice, S.M. Concentrations and Health Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Some Brands of Biscuits in the Nigerian Market. *Hum. Ecol. Risk Assess. Int. J.* **2015**, *21*, 338–357. [CrossRef]
6. Llop, S.; Murcia, M.; Aguinalde, X.; Vioque, J.; Rebagliato, M.; Cases, A.; Iñiguez, C.; Lopez-Espinosa, M.J.; Amurrio, A.; Navarrete-Muñoz, E.M.; et al. Exposure to mercury among Spanish preschool children: Trend from birth to age four. *Environ. Res.* **2014**, *132*, 83–92. [CrossRef]
7. Young, E.C.; Davidson, P.W.; Wilding, G.; Myers, G.J.; Shamlaye, C.; Cox, C.; de Broeck, J.; Bennett, C.M.; Reeves, J.S. Association between prenatal dietary methyl mercury exposure and developmental outcomes on acquisition of articulatory-phonologic skills in children in the Republic of Seychelles. *Neurotoxicology* **2020**, *81*, 353–357. [CrossRef]
8. Dack, K.; Fell, M.; Taylor, C.M.; Havdahl, A.; Lewis, S.J. Mercury and Prenatal Growth: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 7140. [CrossRef]
9. Etchevers, A.; Bretin, P.; Lecoffre, C.; Bidondo, M.L.; Le Strat, Y.; Glorennec, P.; Le Tertre, A. Blood lead levels and risk factors in young children in France, 2008–2009. *Int. J. Hyg. Environ. Health* **2014**, *217*, 528–537. [CrossRef]
10. Bodeau-Livinec, F.; Glorennec, P.; Cot, M.; Dumas, P.; Durand, S.; Massougbdji, A.; Ayotte, P.; Le Bot, B. Elevated Blood Lead Levels in Infants and Mothers in Benin and Potential Sources of Exposure. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2016**, *13*, 316. [CrossRef]
11. Téllez-Rojo, M.; Bellinger, D.; Arroyo-Quiroz, C.; Lamadrid-Figueroa, H.; Mercado-Garcia, A.; Schnaas-Arrieta, L.; Wright, R.; Hernandez-Avila, M.; Hu, H. Longitudinal associations between blood lead concentrations lower than 10 microg/dL and neurobehavioral development in environmentally exposed children in Mexico City. *Pediatrics* **2006**, *118*, 323–330. [CrossRef] [PubMed]
12. Satarug, S.; Gobe, G.C.; Vesey, D.A.; Phelps, K.R. Cadmium and Lead Exposure, Nephrotoxicity, and Mortality. *Toxics* **2020**, *8*, 86. [CrossRef] [PubMed]
13. Commission Regulation (EU) of the European Parliament and of the Council 852/2004 of 29 April 2004 on the Hygiene of Foodstuffs. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32004R0852> (accessed on 31 May 2022).
14. Gu, Z.; de Silva, S.; Reichman, S.M. Arsenic Concentrations and Dietary Exposure in Rice-Based Infant Food in Australia. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 415. [CrossRef] [PubMed]
15. Gardener, H.; Bowen, J.; Callan, S.P. Lead and cadmium contamination in a large sample of United States infant formulas and baby foods. *Sci. Total Environ.* **2019**, *651*, 822–827. [CrossRef]
16. Commission Regulation (EU) 2018/73 of 16 January 2018 Amending Annexes II and III to Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council as Regards Maximum Residue Levels for Mercury Compounds in or on Certain Products. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018R0073&from=PL> (accessed on 30 January 2022).
17. Commission Regulation (EU) 2021/1323 of 10 August 2021 Amending Regulation (EC) No 1881/2006 as Regards Maximum Levels of Cadmium in Certain Foodstuffs. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1323/oj> (accessed on 31 May 2022).
18. World Health Organization; Food and Agriculture Organization of the United Nations & Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and contaminants: Eightieth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. In *Proceedings of the 80th Meeting, Rome, Italy, 2016*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2016.
19. Weker, H.; Barańska, M.; Riahi, A.; Strucińska, M.; Więch, M.; Rowicka, G.; Dyląg, H.; Klemarczyk, W.; Bzikowska, A.; Socha, P. Nutrition of infants and young children in Poland—Pitnuts 2016. *Dev. Period. Med.* **2017**, *21*, 13–28.



20. Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 Setting Maximum Levels for Certain Contaminants in Foodstuffs. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:EN:PDF> (accessed on 30 January 2022).
21. Environmental Protection Agency. *A Review of the Reference Dose and Reference Concentration Processes*; Risk Assessment Forum United States Environmental Protection Agency, United States Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 2002.
22. GB 2762-2012; Polish National Food Safety Standard, Maximum Contamination Levels in Foodstuffs. National Commission for Health and Family Planning. General Veterinary Inspectorate: Warsaw, Poland, 2014.
23. Škrbić, B.; Živančev, J.; Jovanović, G.; Farre, M. Essential and toxic elements in commercial baby food on the Spanish and Serbian market. *Food Addit. Contam. Part B Surveill.* **2017**, *10*, 27–38. [[CrossRef](#)]
24. Rothenberg, S.E.; Jackson, B.P.; Carly McCalla, G.; Donohue, A.; Emmons, A.M. Co-exposure to methylmercury and inorganic arsenic in baby rice cereals and rice-containing teething biscuits. *Environ. Res.* **2017**, *159*, 639–647. [[CrossRef](#)]
25. Ljung, K.; Palm, B.; Grandér, M.; Vahter, M. High concentrations of essential and toxic elements in infant formula and infant foods—A matter of concern. *Food Chem.* **2011**, *127*, 943–951. [[CrossRef](#)]
26. Igweze, Z.N.; Ekhator, O.C.; Nwaogazie, I.; Orisakwe, O.E. Public Health and Paediatric Risk Assessment of Aluminium, Arsenic and Mercury in Infant Formulas Marketed in Nigeria. *Sultan Qaboos Univ. Med. J.* **2020**, *20*, e63–e70. [[CrossRef](#)]
27. Kim, D.W.; Woo, H.D.; Joo, J.; Park, K.S.; Oh, S.Y.; Kwon, H.J.; Park, J.D.; Hong, Y.S.; Sohn, S.J.; Yoon, H.J.; et al. Estimated long-term dietary exposure to lead, cadmium, and mercury in young Korean children. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2014**, *68*, 1322–1326. [[CrossRef](#)]
28. De Castro, C.S.; Arruda, A.F.; Da Cunha, L.R.; De Souza, J.R.; Braga, J.W.; Dórea, J.G. Toxic metals (Pb and Cd) and their respective antagonists (Ca and Zn) in infant formulas and milk marketed in Brasilia, Brazil. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2010**, *7*, 4062–4077. [[CrossRef](#)]
29. Spungen, J.H. Children’s exposures to lead and cadmium: FDA total diet study 2014–16. *Food Addit. Contam.* **2019**, *36*, 893–903. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
30. Winiarska-Mieczan, A.; Kiczorowska, B. Determining the content of lead and cadmium in infant food from the Polish market. *Int. J. Food Sci. Nutr.* **2012**, *63*, 708–712. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
31. Chen, Y.; Qu, J.; Sun, S.; Shi, Q.; Feng, H.; Zhang, Y.; Cao, S. Health risk assessment of total exposure from cadmium in South China. *Chemosphere* **2021**, *269*, 128673. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
32. Meshref, A.M.S.; Moselhy, W.A.; Hassan, N.E.H.Y. Heavy metals and trace elements levels in milk and milk products. *J. Food Meas. Charact.* **2014**, *8*, 381–388. [[CrossRef](#)]
33. Guérin, T.; Chekri, R.; Chafey, C.; Testu, C.; Hulin, M.; Noël, L. Mercury in foods from the first French total diet study on infants and toddlers. *Food Chem.* **2018**, *239*, 920–925. [[CrossRef](#)]
34. Martins, C.; Vasco, E.; Paixão, E.; Alvito, P. Total mercury in infant food, occurrence and exposure assessment in Portugal. *Food Addit. Contam. Part B Surveill.* **2013**, *6*, 151–157. [[CrossRef](#)]
35. Junqué, E.; Garí, M.; Arce, A.; Torrent, M.; Sunyer, J.; Grimalt, J.O. Integrated assessment of infant exposure to persistent organic pollutants and mercury via dietary intake in a central western Mediterranean site (Menorca Island). *Environ. Res.* **2017**, *156*, 714–724. [[CrossRef](#)]
36. Misić, I.D.R.; Tosić, S.B.; Pavlović, A.N.; Pecević-Marinković, E.T.; Mrmosanin, J.M.; Mitić, S.S.; Stojanović, G.S. Trace element content in commercial complementary food formulated for infants and toddlers: Health risk assessment. *Food Chem.* **2022**, *378*, 132113. [[CrossRef](#)]
37. Guérin, T.; Le Calvez, E.; Zinck, J.; Bemrah, N.; Sirot, V.; Leblanc, J.C.; Chekri, R.; Hulin, M.; Noël, L. Levels of lead in foods from the first French total diet study on infants and toddlers. *Food Chem.* **2017**, *237*, 849–856. [[CrossRef](#)]
38. Ohtsu, M.; Mise, N.; Ikegami, A.; Mizuno, A.; Kobayashi, Y.; Nakagi, Y.; Nohara, K.; Yoshida, T.; Kayama, F. Oral exposure to lead for Japanese children and pregnant women, estimated using duplicate food portions and house dust analyses. *Environ. Health Prev. Med.* **2019**, *24*, 72. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
39. Weker, H.; Barańska, M.; Dyląg, H.; Riah, A.; Więch, M.; Strucińska, M.; Kurpińska, P.; Rowicka, G.; Klemarczyk, W. Analysis of nutrition of children aged 13–36 months in Poland: A nation-wide study. *Med. Wieku Rozwoj* **2011**, *15*, 224–231.
40. Mozaffarian, D.; Rimm, E.B. Fish intake, contaminants, and human health: Evaluating the risks and the benefits. *JAMA* **2006**, *296*, 1885–1899. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
41. Dabeka, R.W.; McKenzie, A.D. Survey of total mercury in infant formulae and oral electrolytes sold in Canada. *Food Addit. Contam. Part B Surveill.* **2012**, *5*, 65–69. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

## Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5–3 Years on the Polish Market

Anita Żmudzińska \*, Anna Puścion-Jakubik, Joanna Bielecka, Monika Grabia, Jolanta Soroczyńska, Konrad Mielcarek and Katarzyna Socha

Department of Bromatology, Faculty of Pharmacy with the Division of Laboratory Medicine, Medical University of Białystok, Mickiewiczza 2D Street, 15-222 Białystok, Poland; anna.puscion-jakubik@umb.edu.pl (A.P.-J.); joanna.bielecka@umb.edu.pl (J.B.); monika.grabia@umb.edu.pl (M.G.); jolanta.soroczyńska@umb.edu.pl (J.S.); konrad.mielcarek@umb.edu.pl (K.M.); katarzyna.socha@umb.edu.pl (K.S.)  
 \* Correspondence: anita.zmudzinska@umb.edu.pl; Tel.: +48-85-748-5469

**Table S1.** The content of toxic elements in tested products.

Type of products	n	As	Cd	Hg	Pb
		( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
		X $\pm$ SD	X $\pm$ SD	X $\pm$ SD	X $\pm$ SD
		(Min-Max)	(Min-Max)	(Min-Max)	(Min-Max)
		Me(Q1-Q3)	Me(Q1-Q3)	Me(Q1-Q3)	Me(Q1-Q3)
BABY DINNERS	102	1.86 $\pm$ 0.42	2.31 $\pm$ 0.33	2.97 $\pm$ 0.44	7.55 $\pm$ 0.41 (0.52-
		(<LOD-16.97)	(0.30-20.15)	(<LOD-37.25)	32.27)
		0.19(0.16-0.67)	1.22(0.78-2.03)	1.46(0.51-4.02)	6.76(5.57-9.17)
-with poultry	24	0.24 $\pm$ 0.04	1.19 $\pm$ 0.14	3.54 $\pm$ 1.55	8.46 $\pm$ 1.29
		(<LOD-0.79)	(0.42-2.72)	(<LOD-37.25)	(0.76-32.27)
		0.17(0.15-0.32)	1.07(0.62-1.79)	0.97(0.34-3.58)	7.32(5.65-10.43)
-with beef	16	0.34 $\pm$ 0.06	1.77 $\pm$ 0.41	2.50 $\pm$ 3.36	5.32 $\pm$ 0.76
		(0.15-1.17)	(0.51-7.35)	(0.23-10.26)	(0.52-10.81)
		0.24(0.16-0.42)	1.25(0.73-2.06)	0.64(0.52-4.24)	5.38(3.33-6.36)
-with pork	13	0.28 $\pm$ 0.058	3.31 $\pm$ 1.08	1.64 $\pm$ 0.74	7.24 $\pm$ 1.12
		(<LOD-0.69)	(0.57-11.79)	(<LOD-9.51)	(2.26-17.13)
		0.26(0.16-0.33)	1.73(0.57-11.79)	0.37(0.16-2.03)	6.37(4.75-10.21)
-with fish	18	2.88 $\pm$ 1.27	3.67 $\pm$ 1.35	9.21 $\pm$ 0.57	8.02 $\pm$ 0.63
		(0.52-16.97)	(0.42-20.15)	(1.81-16.97)	(5.28-13.60)
		1.94(1.11-3.48)	1.38(5.90-9.17)	10.52(3.60-13.04)	7.06(5.90-9.17)
-with rabbit	11	0.31 $\pm$ 0.1	1.39 $\pm$ 0.27	2.59 $\pm$ 0.96	7.87 $\pm$ 1.27
		(<LOD-1.02)	(0.30-0.58)	(<LOD-9.87)	(1.86-15.63)
		0.18(0.16-0.36)	1.14(0.58-1.87)	1.23(0.20-4.51)	7.82(5.40-10.46)
-vegetarian	20	0.29 $\pm$ 0.06	2.74 $\pm$ 0.77	3.86 $\pm$ 0.68	7.86 $\pm$ 0.52
		(0.13-1.11)	(0.31-11.56)	(1.08-11.83)	(5.47-13.03)
		0.161(0.15-0.31)	1.63(0.96-2.07)	2.44(1.83-5.11)	1.63(0.96-2.07)
PORRIDGE	50	2.30 $\pm$ 0.33	2.77 $\pm$ 0.40	4.2 $\pm$ 0.35	8.09 $\pm$ 0.70
		(<LOD-8.48)	(0.46-16.03)	(0.72-9.11)	(1.96-25.37)
		1.11(0.62-3.60)	1.71(1.25-3.12)	4.20(1.41-6.04)	6.28(5.34-8.26)
-with milk	8	0.61 $\pm$ 0.12	1.66 $\pm$ 0.49	3.01 $\pm$ 1.06	6.21 $\pm$ 0.82
		(<LOD-1.16)	(0.68-5.03)	(0.95-8.97)	(4.42-10.38)
		0.63 (0.46-0.76)	1.31(1.00-1.45)	1.28(1.03-4.76)	5.16(4.76-7.52)



-with milk and fruit	15	1.47 ± 0.32 (0.23-4.40) 0.95(0.58-2.24)	1.98 ± 0.33 (0.46-4.68) 1.48(1.10-2.92)	3.60 ± 0.54 (0.72-6.35) 3.45(1.41-6.04)	7.90 ± 1.4 (3.97-24.26) 6.18(5.1-7.14)
-cereal gluten	12	1.66 ± 0.54 (0.21-6.95) 0.97(0.21-6.95)	3.30 ± 0.83 (0.67-9.31) 2.07(1.28-4.70)	4.86 ± 0.59 (1.25-8.99) 5.04(3.39-5.75)	8.61 ± 1.58 (1.96-17.93) 6.95(4.84-12.07)
-cereal gluten free	15	4.31 ± 0.72 (0.18-8.48) 4.47(1.55-7.40)	3.72 ± 1.04 (0.69-16.03) 2.09(1.41-4.25)	4.89 ± 0.69 (0.91-9.11) 6.00(1.52-6.33)	8.87 ± 1.36 (5.35-25.37) 6.75(5.63-9.52)
FRUIT AND VEGETABLE MOUSSES	58	0.19 ± 0.48 (<LOD-0.54) 0.17(0.147-0.311)	1.39 ± 2.32 (0.15-10.14) 0.66(0.49-1.46)	3.93 ± 0.26 (0.95-23.86) 3.12(1.73-5.01)	7.97 ± 0.02 (3.03-138.99) 4.95(4.41-6.61)
-fruit and vegetables	9	0.21 ± 2.43 (<LOD-0.54) 0.17(0.14-0.34)	2.27 ± 0.88 (0.37-9.77) 0.65(0.56-1.23)	5.75 ± 1.12 (1.01-23.86) 3.66(1.24-5.45)	5.98 ± 0.06 (3.95-10.60) 0.17(0.14-0.34)
-fruit	33	0.19 ± 0.03 (<LOD-0.40) 0.17 (<LOD-0.31)	1.22 ± 0.33 (0.16-10.14) 0.65 (0.41-0.90)	3.77 ± 0.46 (0.95-13.24) 3.24(2.10-5.01)	9.40 ± 4.06 (3.03-138.9) 4.84(0.00-0.31)
-fruit and cereal	6	0.16 ± 0.09 (<LOD-0.29) 0.17(0.15-0.17)	0.74 ± 0.54 (0.15-1.56) 0.57(0.39-1.22)	3.47 ± 2.50 (1.72-8.21) 2.42(1.76-4.27)	6.58 ± 4.27 (4.00-15.19) 5.00(4.46-5.80)
-fruit and dairy	6	0.23 ± 0.14 (<LOD-0.36) 0.25(0.17-0.35)	1.24 ± 2.30 (0.24-3.33) 0.72(0.42-2.01)	3.71 ± 2.30 (1.07-6.35) 3.44(1.72-6.21)	6.24 ± 1.47 (3.92-7.69) 6.47(5.28-7.58)
-vegetables	4	0.18 ± 0.15 (<LOD-0.37) 0.18(0.08-0.28)	1.93 ± 0.27 (1.68-2.19) 1.92(1.69-2.16)	2.26 ± 0.83 (1.55-3.27) 2.11(1.58-2.93)	5.41 ± 1.91 (3.54-8.05) 5.01(4.13-6.67)
BABY DRINKS	64	0.88 ± 2.04 (<LOD-9.09) 0.15(0.14-0.29)	3.39 ± 1.3 (0.14-18.54) 0.48(0.29-1.14)	2.89 ± 1.87 (1.00-9.11) 2.31(1.45-3.78)	1.14 ± 0.98 (0.46-3.96) 9.98(8.88-13.33)
-fruit drinks and water	22	2.27 ± 3.13 (<LOD-9.09) 0.16(0.13-3.73)	4.17 ± 5.98 (0.16-18.54) 1.2(0.50-5.02)	2.90 ± 1.62 (1.00-7.38) 1.01(1.87-3.73)	1.79 ± 1.97 (0.46-3.96) 1.42(0.46-3.97)
-fruit juices	42	0.19 ± 0.15 (<LOD-0.65) 0.15(0.14-0.27)	0.66 ± 2.01 (0.14-6.82) 0.38(0.28-0.58)	2.88 ± 2.00 (1.00-9.11) 2.1(1.41-4.09)	1.03 ± 0.27 (0.57-2.16) 0.98(0.87-1.10)
SNACKS "FOR THE HAND"	62	2.92 ± 10.77 (0.19-2.91) 0.78(0.38-2.00)	3.09 ± 1.69 (0.46-16.08) 2.29(1.43-3.44)	2.36 ± 1.69 (<LOD- 7.02) 1.97(1.05-3.25)	12.8 ± 7.56 (4.54- 48.18) 10.68(8.85-14.30)
-waffle/crisps	30	4.88 ± 15.34 (0.19-84.71) 0.78(0.38-3.26)	3.51 ± 3.38 (0.46-16.08) 2.62(1.31-3.80)	2.23 ± 1.59 (0.34-6.46) 1.46(1.2-3.2)	13.83 ± 9.08 (4.54-48.18) 11.83(9.22-15.06)
-biscuits/cookies	17	0.93 ± 0.82 (0.20-2.72) 0.71(0.22-1.22)	2.58 ± 1.30 (1.19-6.68) 2.43(1.63-2.99)	2.33 ± 2.10 (<LOD-7.02) 1.91(1.03-2.70)	10.4 ± 4.40 (7.01-23.72) 9.17(8.01-10.81)
-fruit bars	15	1.27 ± 0.86 (0.21-2.91) 1.15(0.47-1.66)	2.83 ± 2.82 (0.62-9.81) 1.83(0.78-2.85)	2.65 ± 1.47 (0.73-5.36) 2.32(1.31-4.01)	14.15 ± 6.73 (7.75-30.99) 12.09(9.43-14.56)
DAIRY	60	0.10 ± 0.16 (<LOD-0.80)	0.95 ± 2.56 (0.11-17.79)	3.02 ± 2.56 (0.11-15.23)	6.66 ± 3.11 (2.13- 21.01)

		<LOD(<LOD-0.80)	2.13(1.35-4.50)	2.13(1.35-4.50)	6.11(4.71-7.29)
-yellow cheese	28	0.11 ± 0.15 (<LOD-0.58)	1.51 ± 3.56 (0.11-17.79)	2.94 ± 2.99 (1.00-15.23)	7.5 ± 3.90 (3.54-21.01)
		<LOD(<LOD-0.19)	0.25(0.20-0.66)	1.96(1.40-2.85)	6.51(5.08-8.59)
-yogurt	32	0.1 ± 0.17 (<LOD-0.80)	0.45 ± 0.78 (0.19-4.64)	3.09 ± 2.16 (0.11-7.87)	5.93 ± 2.0 (2.13-11.46)
		<LOD(<LOD-0.181)	0.26(0.21-0.40)	2.73(1.31-4.83)	6.04(4.54-6.92)
TOTAL	397	1.41 ± 0.25 (<LOD-84.71)	2.08 ± 0.15 (0.11-20.15)	3.16 ± 0.16 (<LOD-37.25)	9.27 ± 0.44 (0.46-138.99)
		0.23(0.15-0.77)	1.12(0.49-2.08)	2.11(1.21-4.36)	7.64(5.46-10.31)

LOD – limits of detection, max – maximum, min – minimum, SD – standard deviation, X – mean.

## 12. Evaluation of Selected Antioxidant Parameters in Ready-to-Eat Food for Infants and Young Children



Article

### Evaluation of Selected Antioxidant Parameters in Ready-to-Eat Food for Infants and Young Children

Anita Żmudzińska \*, Anna Puścion-Jakubik , Jolanta Soroczyńska and Katarzyna Socha

Department of Bromatology, Faculty of Pharmacy with the Division of Laboratory Medicine, Medical University of Białystok, Mickiewicza 2D Street, 15-222 Białystok, Poland; anna.puscion-jakubik@umb.edu.pl (A.P.-J.); jolanta.soroczyńska@umb.edu.pl (J.S.); katarzyna.socha@umb.edu.pl (K.S.)

\* Correspondence: anita.zmudzinska@sd.umb.edu.pl; Tel.: +48-8574-854-69

**Abstract:** Infants and young children have diverse dietary needs, so conducting a detailed analysis of the food they consume in terms of antioxidant activity and the content of antioxidant elements is of utmost importance. The aim of the study was to assess the antioxidant properties and the content of Cu (copper), Se (selenium), and Zn (zinc) in baby products. A total of 398 samples of ready-to-eat food consumed by children were tested. To evaluate the antioxidant activity (338 samples, without dairy), the Folin-Ciocalteu method and the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging test (DPPH) were employed to determine the total phenolic content (TPC). For the determination of mineral component content (398 samples), atomic absorption spectrometry (AAS) was used to analyze the levels of Cu and Zn, while inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) was utilized for the quantification of Se. Fruit and vegetable mousses exhibited the highest average total phenolic content (TPC) and the highest percentage of free radical scavenging in the DPPH test. In terms of mineral content, the group of dairy products recorded the highest average levels of Cu and Se, while porridges contained the highest content of Zn. Notably, only organic baby food contained significantly more Zn compared to conventional food ( $12.2 \pm 13.9$  mg/kg vs.  $10.7 \pm 14.4$  mg/kg). Ready-to-eat products designed for consumption by children provide antioxidant properties, and the presence of Zn, Cu, and Se can contribute to supporting antioxidant processes.

**Keywords:** antioxidant properties; processed food for infants; polyphenols; selenium; copper; zinc



**Citation:** Żmudzińska, A.;

Puścion-Jakubik, A.; Soroczyńska, J.; Socha, K. Evaluation of Selected Antioxidant Parameters in Ready-to-Eat Food for Infants and Young Children. *Nutrients* **2023**, *15*, 3160. <https://doi.org/10.3390/nu15143160>

Academic Editor: Zhiyong Zou

Received: 28 June 2023

Revised: 13 July 2023

Accepted: 14 July 2023

Published: 16 July 2023



**Copyright:** © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

#### 1. Introduction

Proper nutrition during infancy and early childhood is crucial for optimal development and is associated with better health outcomes later in life. The WHO recommends exclusive breastfeeding for the first six months of life, followed by the introduction of complementary foods [1]. Antioxidants derived from fruits and vegetables play a key role in the nutrition of infants and young children. A well-rounded diet that includes an adequate supply of fruit and vegetables, wholegrain products, milk, and milk products, as well as quality fats, has a positive impact on both the natural development of children and their resilience against lifestyle-related diseases. Minerals such as Zn (zinc), Cu (copper), and Se (selenium), which are involved in the antioxidant defense system, are indispensable for healthy growth and proper development during infancy.

Zn is an essential micronutrient that plays a vital role in numerous metabolic processes. It is particularly important for the proper growth and maturation of children. Zn also acts as a component of Cu–Zn superoxide dismutase (Cu/Zn SOD), thus participating in antioxidant protection [2]. Zn is classified as a type II nutrient, meaning it is essential for general metabolism as opposed to type I nutrients, which are necessary for specific bodily functions [3]. Zn deficiency in children can result in various adverse effects, including diarrhea, loss of appetite, stunted growth and development, hair loss, and increased

susceptibility to infections. Excess Zn may interfere with the absorption of Cu and iron (Fe) and cause acute conditions manifested by severe nausea, vomiting, abdominal pain, and diarrhea. The tolerable upper intake level for Zn for children aged 7 to 11 months is 5 mg/day; for children aged 1–3 years, it is 7 mg/day [4]. This micronutrient is present in a wide range of foods, with animal products, shellfish, whole grains, legumes, and nuts being the richest sources. However, despite its prevalence in foods, Zn deficiencies can still occur due to the limited bioavailability of this element caused by dietary fiber and phytates [2,3]. In terms of the recommended intake, the estimated average requirement (EAR) for children aged 7 to 11 months and 1–3 years is 2.5 mg/day for Zn [5].

Cu is an essential micronutrient for the human body and is involved in many metabolic processes. It is particularly important for hematopoietic processes, the proper functioning of the nervous system, the elimination of free radicals, and immune support [6]. The sources of Cu are seafood (especially oysters), beef, offal, green leafy vegetables, legumes, cocoa, cereals, and nuts [4]. Cu can act both as an antioxidant and an oxidant, so it is important to maintain the appropriate balance between Cu and other minerals, such as Zn or manganese (Mn) [4]. Cu serves as a cofactor for various important enzymes, including cytochrome C oxidase, tyrosinase, *p*-hydroxyphenylpyruvate hydroxylase, dopamine beta-hydroxylase, lysyl oxidase, and superoxide dismutase (SOD). These enzymes play vital roles in processes necessary for growth and development [7]. It is important to maintain the homeostasis of Cu and Zn since an elevated Cu:Zn ratio can impair the antioxidant properties of a number of enzymes [4]. Both deficiency and excess of Cu in the blood can have adverse health consequences for infants and young children [8]. Cu deficiency in infants can lead to cardiovascular and immunological disorders, although such cases are relatively rare and the symptoms are not highly specific [5]. Conversely, excessive levels of Cu can lead to oxidative damage to DNA and contribute to protein and lipid oxidation [9]. As regards the recommended intake of Cu, the AI (adequate intake) for children 7–11 months is 0.3 mg/day, and the EAR for children aged 1–3 years is 0.25 mg/day [5].

Se is an essential trace element that is only required in small amounts. It is a component of oxidoreductive enzymes, including glutathione peroxidases, thioredoxin reductase, iodothyronine deiodinase, and selenophosphate synthetase 2. This is why it plays a crucial role in the immune system [3,10]. Se mediates the biosynthesis of functionally active selenoproteins, which are involved in the antioxidant defense of cells as well as in the maintenance of redox homeostasis. Selenoprotein P is a protein that plays an important role in the transport, storage, and delivery of Se in vivo. It possesses the ability to bind toxic elements and contributes to the body's defense against oxidative stress [10]. The primary dietary sources of Se are plant products, including vegetables, whole grains, meat, seafood, and fish. However, it is important to note that the actual content of this element strictly depends on the content of Se present in the soil where animals are raised or plants are cultivated [3,10]. Se deficiency is rare and usually occurs in countries with low soil concentrations. It can also be seen in cases of total parenteral nutrition and in infants fed cow's milk instead of breast milk [11]. An insufficient level of Se can contribute to a weakened immune system, hypothyroidism, and heart disease [3]. Deficiency can cause cardiomyopathies in children, although it is mainly observed in China [11]. Excess Se can also be toxic and manifest in disorders of the musculoskeletal system, and the tolerable upper intake level for Se is 60 µg/day [11]. According to the recommendations, the AI for children aged 7–11 months is 20 µg/day and the EAR of Se for children aged 1–3 years is 17 µg/day [5].

Many methods are used to assess the antioxidant properties of food. Among the most popular ones are the assessment of the total phenolic content (TPC) using the Folin-Ciocalteu reagent (F-C) and the radical scavenging test using 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) [12]. The basic mechanism of action of F-C involves oxidation and reduction processes, where the oxidation of phenols with the F-C reagent produces a color reaction [13].



The DPPH test is used to determine the ability of compounds to scavenge free radicals [12]. Other methods described in the literature include the determination of the reduction of iron ions (FRAP), the assessment of the ability to absorb oxygen radicals (ORAC), and the method using a reagent (ABTS) [14].

Ready-to-eat processed foods for infants and young children are distinct from non-specific processed foods for adults due to the stringent compositional and health safety requirements outlined in the Commission Directive 2006/125/EC of 5 December 2006, which specifically addresses processed cereal-based foods and baby foods for infants and young children [15]. The DONALD study showed that 20% of infants and young children consumed home-cooked meals, while 60% were fed processed, ready-to-eat products. The remaining 20% had a combination of homemade and ready-to-eat foods designed for children [16]. Additionally, the CHOP study observed that over 95% of children aged 9–12 months consumed at least one ready-to-eat product [17]. Given the high prevalence of ready-made, processed products for children, it is important that this kind of food maintain high quality standards and appropriate composition. While the antioxidant properties and antioxidant vitamin content of foods have been extensively studied in the literature, there is a dearth of scientific reports specifically focusing on finished products intended for children.

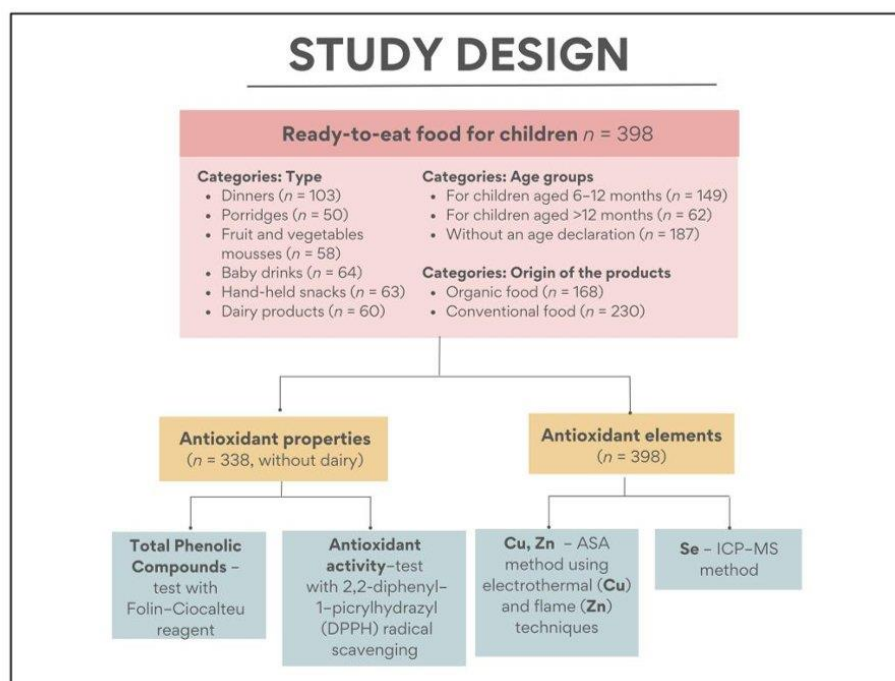
Previous research on ready-to-eat products for children has focused on the assessment of food contaminants, while there are few studies assessing the antioxidant properties of foods. A number of studies are proposed in the literature, however, the number of samples and variety of products for children are limited (from  $n = 7$  to  $n = 60$  [18–28]). According to the latest knowledge, the current scientific reports focus on the analysis of children's dinners and fruit and vegetable mousses [18–28], and there is little or no data describing the antioxidant properties in children's drinks, porridges, snacks, and dairy products.

The objective of the study was to evaluate the antioxidant properties of ready-to-eat products for children aged 0.5–3 years. The assessment includes analyzing the concentrations of Zn, Cu, and Se, as well as the antioxidant activity determined by the content of phenolic compounds using the F-C method and the DPPH test. This study included samples from European and non-European producers to take into account the diversity of this type of food.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Sample Collection and Preparation

The research material consisted of 398 products intended for consumption by children. These products included baby dinners ( $n = 103$ ), porridges ( $n = 50$ ), fruit and vegetable mousses ( $n = 58$ ), baby drinks ( $n = 64$ ), hand-held snacks ( $n = 63$ ), and dairy products ( $n = 60$ ). Within each category, a large variety of products was collected to ensure representative groups for analysis. The samples were selected to reflect the assortment of products available in the Polish market. The samples were purchased from various sources: brick-and-mortar stores (discount stores, hypermarkets, and drugstores with children's food in Białystok, Poland) and online stores. The analyzed products were sourced from leading manufacturers of ready-to-eat products for infants and young children, including Nutricia, Nestle, Humana, Hipp, Holle, and Helpa. While the majority of the tested samples are suitable for consumption by children from 6 months of age, certain products (e.g., biscuits, chocolate bars, or cookies) are recommended for consumption after 12 months of age. The study design is shown in Figure 1.



**Figure 1.** Research project on the antioxidant properties of food for children. Cu—copper, n—number of samples, Se—selenium, Zn—zinc.

The procedure for sample preparation involved homogenizing the samples in a mill or grinding them in a mortar. The ground samples were then weighed, with a sample weight ranging from 0.25 to 0.35 g, and measured with an accuracy of 0.001 g. These weighed samples were placed in mineralization vessels made of polytetrafluoroethylene. Next, 4 mL of concentrated 69% HNO<sub>3</sub> (Tracepur, Merck, Darmstadt, Germany) was added to each sample. Microwave digestion was conducted in a closed-loop system (Berghof, Speedwave, Eningen, Germany). The mineralization process consisted of four phases. The first phase lasted 10 min at 170 °C, 20 atm pressure, and 90% power; the second phase lasted 10 min at 190 °C, 30 atm pressure, and 90% power; and the third phase lasted 40 min at 210 °C, 40 atm pressure, and 90% power. The fourth phase involved cooling time and lasted 18 min, at 50 °C, 40 atm pressure, and 0% power. After mineralization, the samples were quantitatively transferred to polypropylene vessels and diluted.

## 2.2. Determination of Mineral Components

The mineral concentrations in the samples were analyzed using different analytical techniques. Flame Atomic Absorption Spectrometry (AAS) with Zeeman background correction was employed to analyze Zn. The measurements were performed at a wavelength of 324.8 nm using the Z-2000 instrument from Hitachi, Tokyo, Japan. For Cu analysis, electrothermal Atomic Absorption Spectrometry with Zeeman background correction was utilized. The measurements were conducted at a wavelength of 213.9 nm. Se analysis was conducted using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry with kinetic energy discrimination (KED). The instrument used was the NexION 300D from PerkinElmer, Waltham, MA, USA. The detection limits (LOD) for Zn, Cu, and Se were 0.018 mg/kg, 0.39 µg/kg, and 0.01 µg/kg, respectively. The LOD was calculated as three times the

standard deviation from the mean value of the blank sample. The limit of quantification (LOQ) value was calculated as three times the LOD and LOQ values for Zn, Cu, and Se which were 0.054 mg/kg, 1.17 µg/kg, 0.03 µg/kg, respectively.

In order to evaluate the accuracy and precision of the study, certified reference materials (CRMs) were used. For the analysis of baby dinners, the material used was Simulated Diet D obtained from the Swedish National Food Administration (Livsmedelsverket, Uppsala, Sweden). Porridges and snacks were tested using corn flour INCT-CF-3 obtained from the Institute of Nuclear Chemistry and Technology (Warsaw, Poland). The analysis of dairy products utilized skim milk powder CRM 063R provided by the Community Bureau of Reference (BCR). A total of six independent samples were analyzed for each CRM.

The concentrations of mineral components were also expressed as a percentage of the Estimated Average Requirement (EAR) coverage. This calculation was based on standard portions consumed by children, as declared by the manufacturer [28]. The Cu:Zn molar ratio was calculated for all samples using Microsoft Excel software.

### 2.3. Determination of Antioxidant Properties

The TPC was determined using the Folin-Ciocalteu reagent [29]. To create the calibration curve, a solution of gallic acid (GAE) with a concentration of 2 g/L in distilled water was prepared. The samples were homogenized, weighed ( $1 \text{ g} \pm 0.001 \text{ g}$ ), dissolved in 10 mL of distilled water, and then centrifuged for 5 min at 2000 rotations per min (rpm). Next, 0.25 mL of the supernatant was taken and mixed with 1.25 mL of 0.2 N Folin-Ciocalteu reagent. The mixture was allowed to react for 5 min. The absorbance of the resulting solution was measured at 760 nm against water. The concentration was expressed as mg of equivalent gallic acid/100 g of the product. The reported result represents the average of three measurements.

The antioxidant activity of the samples was also determined using the radical scavenging test with DPPH [30]. The samples were homogenized, and  $5 \text{ g} \pm 0.001 \text{ g}$  were measured. Next, 10 mL of 80% ethanol was added to the samples, and the mixture was shaken for 15 min. A DPPH solution was prepared by dissolving 10 mg of DPPH in 100 mL of 80% ethanol. Subsequently, the samples were centrifuged for 3 min, at 5000 rpm. After some time, 2 mL of the supernatant was taken and mixed with 2 mL of DPPH solution. As a control, 2 mL of the DPPH mixture was mixed with 2 mL of 80% ethanol. The samples were incubated for 30 min at room temperature, protected from light. The absorbance of the resulting solutions was measured at 517 nm against 80% ethanol with a spectrophotometer U-2001 (Hitachi, Tokyo, Japan). The percentage of free radical scavenging was calculated using the following equation:

$$\text{DPPH inhibition [\%]} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100\%$$

where  $A_{\text{control}}$  is the absorbance of the control reaction and  $A_{\text{sample}}$  is the absorbance of the analyzed sample.

### 2.4. Statistical Analysis

The obtained data were analyzed using the Statistica software (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA). The Shapiro–Wilk test was performed, and the distribution was found to be non-normal. Non-parametric Mann–Whitney U tests and the Kruskal–Wallis ANOVA test were used to compare the values of the tested parameters in various product groups. Spearman’s rank correlation was used to check the relationship between the analyzed parameters tested in all product subgroups. The results were summarized using the median and quartiles, however, to compare the results of our own research with those of other authors, the tables contain the mean, along with the standard deviation, as well as the maximum and minimum values. Significant difference values were assumed at  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ , and  $p < 0.001$ .



### 3. Results

#### 3.1. Evaluation of Antioxidant Properties: DPPH, TPC

The contents of TPC, DPPH, Cu, Se, Zn, and the Cu: Zn ratio, along with the corresponding statistical significance, are presented in Table 1.

In the analyzed assortment, the median TPC was found to be 37.8 mg GAE/100 g (Q1–Q2 Q1—quartile 1, Q2—quartile 2: 12.4–82). The group of products based on fruit and vegetable mousses had the highest median TPC, recording 111.8 mg GAE/100 g (55.9–162.4), and the highest value within this subgroup was 114.2 (65.8–167.4) mg GAE/100 g (Supplementary Materials, Table S3). On the other hand, the group of dinners for children had the lowest median TPC of 25.8 mg GAE/100 g (14.2–37.0), with fish-based dinners having the lowest TPC of 17.3 mg GAE/100 g (7.6–33.3) (Table S1). Among the products for children, those with the highest TPC were found to be freeze-dried fruits consisting of blackcurrant, pineapple, cherry, and strawberries (525.4 mg GAE/100 g), freeze-dried fruits based on strawberries, raspberries, blueberries, and apples (507.2 mg GAE/100 g), and apple chips (312.0 mg GAE/100 g). It is worth noting that TPC was not detected in nine products.

Baby products exhibited a free radical scavenging capacity of 71.4% (48.0–86.8). The group of fruit and vegetable mousses had the highest median obtained in the DPPH test, with a value of 95.3% (91.0–99.6). Among the subgroups, fruit mousses had the highest free radical scavenging capacity of 95.9% (87.2–97.4) (Table S3). On the other hand, the group of drinks for children showed the lowest percentage of free radical scavenging in the DPPH test, recording 34.8% (2.8–52.5), with fruit juices exhibiting the lowest capacity within this subgroup, namely 33.7% (4.4–56.6) (Table S4). Summer fruit salad containing pear, apple, mirabelles, and apricots (99.6%), applesauce (99.5%), and banana, mango, and coconut milk mousse (89.6%) had the highest free radical scavenging capacities.

#### 3.2. Evaluation of Mineral Components: Cu, Se, Zn

In products for children, the median concentration of Cu was 7.8 mg/kg (4.4–12.1). The group of dairy products exhibited the highest median Cu content: 18.2 mg/kg (14.0–22.9). Among the subgroups, yogurts showed the highest median Cu value: 22.1 mg/kg (20.4–26.6) (Table S6). The lowest Cu content was recorded in baby drinks, with 2.1 mg/kg (1.8–4.6), and within the subgroups, fruit juices had the lowest Cu content: 1.9 mg/kg (1.7–4.0) (Table S4). Among the products for children, those with the highest content of Cu were: organic cereal and fruit bars based on oat flakes, bananas, and apples (90.7 mg/kg); organic fruit and cereal bars based on oat flakes, bananas, apples, and grapes (90.3 mg/kg); and yogurt with chocolate chips (51.7 mg/kg).



**Table 1.** The content of TPC, DPPH, Cu, Se, Zn, and the Cu:Zn ratio in tested products.

Type of Product (Sign)	M ± SD	TPC (mg CAE/100 g of Fresh Weight)	DPPH (% Free Radical Scavenging)	Cu (mg/kg of Fresh Weight)	Se (µg/kg of Fresh Weight)	Zn (mg/kg of Fresh Weight)	Cu:Zn Molar Ratio
Dinners (D) n = 103	Min-Max	29.1 ± 23.3 (0–181.6)	59.3 ± 29.5 (0–96.9)	7.3 ± 2.5 (1.9–15.6)	26.7 ± 14.3 (5.3–76.4)	5.3 ± 5.1 (0.8–46.3)	2.0 ± 1.2 (0.1–6.4)
	Me	25.8 (14.2–37.0)	69 (50.8–79.2)	7 (5.7–8.5)	24.5 (16.4–32.2)	4.0 (1.2–6.6)	1.7 (1.2–2.4)
	Q1–Q3	*** FV, BD	*** FV, BD	*** P, FV, BD, S, DP	*** FV, BD, S, DP	*** P, FV, BD, S, D	** S, *** P, FV
Porridges (P) n = 50	Min-Max	44.9 ± 45.9 (3.6–206.0)	68.5 ± 27.0 (0–97.0)	3.8 ± 2.2 (0.5–9.2)	55.6 ± 95.5 (5.2–686.6)	30.4 ± 16.5 (3.7–93.3)	0.2 ± 0.1 (0–0.4)
	Me	33.5 (12.5–69.2)	77.9 (59.1–86.8)	3.4 (1.8–5.4)	33.4 (22.3–65.1)	27.4 (18.8–37.1)	0.1 (0–0.2)
	Q1–Q3	*** FV	*** FV, BD	*** D, FV, S, DP	*** FV, BD, S, DP	*** D, FV, BD	*** D, FV, BD, S
Fruit and Vegetable-mousses (FV) n = 58	Min-Max	112.0 ± 65.4 (6.5–250.8)	100.0 ± 17.6 (0–99.6)	11.0 ± 6.7 (2.2–39.5)	80.4 ± 37.0 (<LOQ–175.7)	2.2 ± 1 (0.6–4.8)	6.5 ± 5.4 (0.8–30.9)
	Me	111.8 (55.9–162.4)	95.3 (91.0–99.6)	9.3 (7.3–14.2)	79.3 (53.3–102.5)	2.2 (1.3–2.9)	4.8 (3.1–7.8)
	Q1–Q3	*** D, P, S	*** D, P, BD, S	* D, DP, *** P, BD	*** D, P	*** D, P, S, DP	** DP, *** D, P, BD, S
Baby drinks (BD) n = 64	Min-Max	75.9 ± 55.8 (0–242.0)	22.8 ± 46.0 (0–87.4)	3.4 ± 2.1 (1.3–8.7)	116.7 ± 110.0 (<LOQ–567.2)	4.2 ± 7.8 (0.1–39.0)	3.9 ± 8.5 (0.2–62.5)
	Me	74.7 (33.0–105.4)	34.8 (2.8–52.5)	2.1 (1.8–4.6)	87.7 (56.7–111)	1.3 (0.7–2.6)	1.9 (0.9–3.4)
	Q1–Q3	*** D	*** D, P, FV, S	*** D, FV, S, DP	*** D, P	*** D, P, S	*** P, FV, S
Hand-held snacks (S) n = 63	Min-Max	68.1 ± 103.1 (0–525.4)	66.6 ± 85.6 (0–91.7)	14.3 ± 14.7 (2.9–90.7)	76.6 ± 21.6 (24.1–122.2)	16.7 ± 10.7 (3.9–69.4)	1.1 ± 0.9 (0.2–6.2)
	Me	29.3 (12.4–82.0)	77.0 (56.1–85.6)	11.5 (8.7–13.9)	78.9 (65.4–91.2)	14.4 (10.4–20)	0.8 (0.5–1.3)
	Q1–Q3	*** FV	*** FV, BD	* FV *** D, P, BD	*** D, P	*** D, FV, BD	** D *** P, FV, BD, DP
Dairy products (DP) n = 60	Min-Max	19.4 ± 7.5 (9.1–51.7)	163.2 ± 84.8 (47.5–454.7)	16.3 ± 18.2 (2–63.7)	163.2 ± 84.8 (47.5–454.7)	16.3 ± 18.2 (2–63.7)	3.5 ± 2.8 (0.3–11.2)
	Me	18.2 (14–22.9)	134.9 (113.9–195.5)	5.8 (4.3–8.7)	134.9 (113.9–195.5)	5.8 (4.3–8.7)	3.4 (0.6–5.2)
	Q1–Q3	* FV *** D, P, BD	*** D, P	*** D, FV, BD	*** D, P	*** D, FV, BD	** FV *** P, S
TOTAL n = 398	Min-Max	61.8 ± 67.7 (0–525.4)	60.5 ± 38.0 (0–99.6)	9.7 ± 9.1 (0.5–90.7)	81.1 ± 80.7 (<LOQ–686.6)	11.3 ± 15.0 (0.1–93.3)	2.8 ± 4.6 (0–62.5)
	Me	37.8 (16.6–86.7)	71.4 (48–86.8)	7.8 (4.4–12.1)	65.0 (30.1–100.2)	7.8 (4.4–12.1)	1.7 (0.6–3.3)
	Q1–Q3	*** P < 0.05, ** p < 0.001, *** p < 0.0001, BD—baby drinks, Cu—copper, D—dinners, DP—dairy products, DPPH—2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging test, FV—fruits and vegetable mousses, GAE—gallic acid, LOQ—limit of quantification, M—mean, Max—maximum, Me—median, Min—minimum, n—number of samples, P—porridges, Q1—quartile 1, Q3—quartile 3, S—snacks, Se—selenium, TPC—total phenolic content, Zn—zinc.					

The median concentration of Se in products for children was 65.0 µg/kg (30.1–100.2). The group of dairy products exhibited the highest median Se content of 134.9 µg/kg (113.9–195.5). Among the subgroups, yellow cheese showed the highest median Se content—164.2 µg/kg (120.2–214.5) (Table S6). The lowest median Se content was observed in dinners, with 24.5 µg/kg (16.4–32.2), while within the subgroups, poultry-based dinners had the highest content of this element—16.6 µg/kg (13.2–25.5) (Table S1). Among the products for children, those with the highest Se content were organic oat-meal (686.6 µg/kg), tea based on lemon balm, linden, and marjoram (567.2 µg/kg), and lemonade based on apple, strawberry, rosehip, and mint (485.2 µg/kg).

The median Zn content in products intended for infants and young children was 7.8 mg/kg (4.4–12.1). Among the different groups, children’s porridges were found to have the highest content of Zn at 27.4 mg/kg (18.8–37.1). Within the subgroups, milk porridges had the highest content, with a median of 34.4 mg/kg (18.5–44.0) (Table S2). The lowest median of Zn was found in baby drinks at 1.3 mg/kg (0.7–2.6), while among the subgroups, fruit juices had the lowest Zn content at 1.0 mg/kg (0.7–1.9) (Table S4). Products for children with the highest content of Zn were: dairy-free buckwheat porridge (93.3 mg/kg), milk banana porridge made of wholegrain cereals (79.7 mg/kg), and a bio cereal bar based on oat flakes, apples, and bananas (69.4 mg/kg).

The median molar ratio of Cu:Zn in baby products was 1.7 (0.6–3.3). Fruit and vegetable mousses exhibited the highest Cu:Zn molar ratio—4.8 (3.1–7.8), followed by dairy products—3.4 (0.6–5.2). The lowest Cu:Zn molar ratio was found in children’s porridges at 0.1 (0.0–0.2) and snacks at 0.8 (0.5–1.3).

### 3.3. EAR of Cu, Se, and Zn

The analyses were conducted to determine the extent to which a portion of products for children covered the average requirement for Cu, Zn, and Se. The results revealed that the average portion of baby products covered 232.0% of the EAR for Cu, 19.2% for Zn, and 24.3% for Se. Among the product groups, fruit and vegetable mousses showed the highest percentage of Cu and Se coverage, with 492.9% for Cu and 52.8% for Se. In the case of Zn, hand-held snacks had the highest coverage (54.5%). The average percentages of EAR coverage of trace elements in baby products are presented in Table 2.

**Table 2.** Coverage in % of the Estimated Average Requirement (EAR) for Cu, Zn, and Se in baby products.

Type of Product	Elements	Dinners	Porridge	Fruit and Vegetables Mousses	Baby Drinks	Hand-Held Snacks	Dairy Products	Total
% EAR	Cu	167.1 ± 89.1	35.1 ± 20.4	492.9 ± 300.0	58 ± 35.4	465.2 ± 477.3	196.4 ± 184.1	232.0 ± 291.9
	Zn	12.9 ± 14.6	28.2 ± 15.3	9.7 ± 4.6	7.3 ± 13.4	54.5 ± 35	7.1 ± 6.3	19.2 ± 24.2
	Se	9.3 ± 6.6	7.6 ± 13	52.8 ± 24.4	29.5 ± 47.8	36.7 ± 10.4	17.6 ± 12.2	24.3 ± 22.9

Cu—copper, EAR—estimated average requirement, Se—selenium, Zn—zinc.

### 3.4. Evaluation of the Content of Cu, Se, Zn, and DPPH, TPC in Baby Products Taking into Account the Intended Use of Products for the Age Groups

Ready-to-eat products for children were analyzed in terms of their intended use and divided into age categories: for infants 6–12 months, for children between 1 and 3 years, as well as products without an age declaration. Table 3 presents the characteristics of the age groups, taking into account the mean, median, and other statistical parameters. The age-declared group included dinners, porridges, and processed vegetables and fruits. Other groups (dairy products, snacks, and drinks) were categorized without age values. The highest median values for TPC were recorded in the group of products for children without an age declaration, at 50.8 mg GAE/100 g (15.9–99.1), and in products for children aged 6–12 months, at 42.6 mg GAE/100 g (21.1–98.7). Significantly lower TPC content was found in the group of products for children between 1 and 3 years (24.0 mg GAE/100 g (12.2–38.2)). Regarding the DPPH test, statistically higher values were recorded in the group of products

intended for children aged 6–12 months, with a value of 79.9% (56.8–93.3,) and in products for children between 1 and 3 years, with a value of 77.8% (67.8–88.5), compared to products without an age declaration, which had a value of 53.4% (30.1–76.9). The highest median Cu values were found in products without an age declaration: 10.7 mg/kg (2.2–17.6). The concentrations were significantly lower in products for children 6–12 months: 6.9 mg/kg (4.1–9.2) and between 1 and 3 years: 6.9 mg/kg (5.3–8.6). The group of products without an age declaration also recorded the highest median Se concentration, which was 93.0 µg/kg (68.0–127.7). Products for children aged 6–12 months had a median Se concentration of 39.8 µg/kg (22.5–71.6), and products for children between 1 and 3 years had the lowest Se concentration, measuring 26.1 µg/kg (17.0–41.7). As regards Zn, products for children aged 6–12 months had a concentration of 3.7 mg/kg (2.2–12.0), while products for children between 1 and 3 years contained 5.8 mg/kg (2.8–9.6). Products without an age declaration had a similar concentration of 5.5 mg/kg (2.2–17.6), and these results were not statistically significant. Medians, quartiles, and other statistical parameters of TPC, DPPH, Cu, Zn, and Se, taking into account the intended use of products for age groups, are presented in Table 3.

**Table 3.** The average content and median of TPC (mg GAE/100 g), DPPH (% Free Radical Scavenging), Cu (mg/kg), Se (µg/kg), and Zn (mg/kg) in the studied groups show significant statistical differences, taking into account the intended use of products for the age groups.

Type of Product (Sign)	Element	n	M ± SD	Min–Max	Me	Q1–Q3
For infant Aged 6–12 months (A)	TPC (mg GAE/100 g of fresh weight)	149	64.9 ± 59.7	0–234.6	42.6 *** B	21.1–98.7
	DPPH (% Free Radical Scavenging)		68.6 ± 31.9	0–99.6	79.9 *** C	56.8–93.3
	Cu (mg/kg of fresh weight)		7.5 ± 5.3	0.5–39.5	6.9 *** C	4.1–9.2
	Se (µg/kg of fresh weight)		54.8 ± 63.7	0–686.6	39.8 ** B, *** C	22.5–71.6
	Zn (mg/kg of fresh weight)		10.0 ± 14.6	0.6–93.3	3.7	2.2–12.0
For children between 1 and 3 years (B)	TPC (mg GAE/100 g of fresh weight)	62	33.4 ± 39.4	3.5–250.8	24.0 *** A	12.2–38.2
	DPPH (% Free Radical Scavenging)		73.9 ± 21.4	0–97.9	77.8 *** C	67.8–88.5
	Cu (mg/kg of fresh weight)		7.4 ± 3.2	2.8–20.4	6.9 *** C	5.3–8.6
	Se (µg/kg of fresh weight)		32.8 ± 23.9	5.2–136.9	26.1 ** B, *** C	17–41.7
	Zn (mg/kg of fresh weight)		11.1 ± 13.5	0.7–52.9	5.8	2.8–9.6
Without an age declaration (C)	TPC (mg GAE/100 g of fresh weight)	187	72.0 ± 82.5	0–525.4	50.8 *** B	15.9–99.1
	DPPH (% Free Radical Scavenging)		44.5 ± 44.9	0–91.7	53.4 *** A,B	30.1–76.9
	Cu (mg/kg of fresh weight)		12.2 ± 11.6	1.3–90.7	10.7 *** A,B	2.2–17.6
	Se (µg/kg of fresh weight)		118.1 ± 88.2	0–567.2	93.0 *** A,B	68.0–127.7
	Zn (mg/kg of fresh weight)		12.3 ± 14.1	0.1–69.4	5.5	2.2–17.6

\*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . A—products for infants, 6–12 months, B—products for children between 1 and 3 years, C—products without an age declaration, Av—average, Cu—copper, DPPH—2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging test, GAE—gallic acid, M—mean, Max—maximum, Me—median, Min—minimum, n—number of samples, Q1—quartile 1, Q3—quartile 3, SD—standard deviation, Se—selenium, TPC—total phenolic content, Zn—zinc.

### 3.5. Evaluation of the Content of Cu, Se, Zn, and DPPH, TPC in Baby Products Taking into Account Food Origin

Products intended for consumption by children were also analyzed, considering the origin of the raw materials. The analysis distinguished between the organic food group, consisting of 168 samples (including 50 dinners, 17 porridges, 23 fruit and vegetable mousses, 28 drinks, and 50 snacks), and the conventional food group, consisting of 230 samples (including 53 dinners, 33 porridges, 35 fruit and vegetable mousses, 36 drinks, 13 snacks, and 60 dairy products). The results are presented in Table 4. It was found that organic food had higher medians in the DPPH test, with a median of 72.7% (48.6–85.5), compared to conventional food, with a DPPH of 69.5% (43.8–89.5). Similarly, organic food had higher median concentrations of Se: 69.5 µg/kg (28.8–106) and Zn: 6.8 mg/kg (2.8–16.3) compared to conventional food, with Se: 64.4 µg/kg (30.5–91.8) and Zn:



4.3 mg/kg (2.0–12.4). On the other hand, conventional food showed higher medians of TPC, with a median of 44.6 mg GAE/100 g (15.8–96.8), and Cu, with a median of 51.7 mg/kg (4.2–13.2), compared to organic food, with a TPC median of 34.3 mg GAE/100 g (16.8–78.2) and a Cu median of 7.2 mg/kg (5.2–10.9). Statistically significant differences were observed only in the concentration of Zn. Medians, quartiles, and other statistical parameters of TPC, DPPH, Cu, Zn, and Se, taking into account the origin of the products, are presented in Table 4.

**Table 4.** The average content and median of TPC (mg GAE/100 g), DPPH (% Free Radical Scavenging), Cu (mg/kg), Se ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), and Cu (mg/kg) in the studied groups show significant statistical differences, taking into account the origin of the products.

Type of Product (Sign)	Elements	<i>n</i>	M $\pm$ SD	Min–Max	Me	Q1–Q3
Organic food (O)	TPC (mg GAE/100 g)	168	56.5 $\pm$ 63.5	0–507.2	34.3	16.8–78.2
	DPPH (% Free Radical Scavenging)		63.3 $\pm$ 31.7	0–98.3	72.7	48.6–85.5
	Cu (mg/kg)		9.3 $\pm$ 10.5	1.1–90.7	7.2	5.2–10.9
	Se ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )		84.2 $\pm$ 78.8	0–567.2	65.5	28.8–106
	Zn (mg/kg)		12.2 $\pm$ 13.9	0.5–93.3	6.8 ** C	2.8–16.3
Conventional food (C)	TPC	230	67 $\pm$ 71.3	0–525.4	44.6	15.8–96.8
	DPPH (% Free Radical Scavenging)		57.7 $\pm$ 43.2	0–99.6	69.5	43.8–89.5
	Cu (mg/kg)		10 $\pm$ 7.7	0.5–51.7	51.7	4.2–13.2
	Se ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )		76.9 $\pm$ 83.3	2.9–686.6	64.4	30.5–91.8
	Zn (mg/kg)		10.7 $\pm$ 14.4	0–75.7	4.3 ** C	2.0–12.4

\*\*  $p < 0.01$ , C—conventional food, Cu—copper, DPPH—2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging test, GAE—gallic acid, M—mean, Max—maximum, Me—median, Min—minimum, *n*—number of samples, O—organic food, Q1—quartile 1, Q3—quartile 3, SD—standard deviation, Se—selenium, TPC—total phenolic content, Zn—zinc.

### 3.6. Correlations

The analysis of correlations between the evaluated parameters showed a high relationship between Se and Zn in the group of drinks for children ( $r = 0.56$ ,  $p < 0.001$ ). Among other parameters, the average correlation between Se and Zn in baby dairy products ( $r = 0.45$ ,  $p < 0.001$ ), Se and Cu in baby drinks ( $r = 0.38$ ,  $p < 0.005$ ), Cu and DPPH in porridges ( $r = 0.38$ ,  $p < 0.001$ ), Zn and Cu in dinners ( $r = 0.35$ ,  $p < 0.001$ ), Cu and DPPH in total products ( $r = 0.38$ ,  $p < 0.001$ ) should be emphasized. Correlations between individual parameters are presented in Table 5.

**Table 5.** Correlations between individual parameters ( $p < 0.05$ ).

Type of Products	Parameter 1	Parameter 2	<i>r</i>	<i>p</i>
Dinners	TPC	Cu	−0.21	<0.05
	Zn	Cu	0.35	<0.001
	Zn	DPPH	0.23	<0.05
	DPPH	Cu	0.27	<0.005
Porridges	Se	Cu	0.29	<0.001
	Zn	TPC	−0.28	<0.001
	Cu	Zn	0.21	<0.001
	Cu	DPPH	0.38	<0.001
	DPPH	TPC	0.17	<0.005
Fruit and vegetable mousses	TPC	Zn	−0.32	<0.05



Table 5. Cont.

Type of Products	Parameter 1	Parameter 2	r	p
Baby drinks	TPC	Se	−0.28	<0.02
	Se	Zn	0.56	<0.001
	Se	Cu	0.38	<0.005
	Zn	Cu	0.27	<0.05
	Cu	DPPH	−0.32	<0.05
Dairy products	Se	Zn	0.45	<0.001
TOTAL	TPC	Se	0.22	<0.001
	TPC	Zn	−0.28	<0.001
	TPC	DPPH	0.17	<0.005
	Se	Cu	0.29	<0.001
	Cu	Zn	0.21	<0.001
	Cu	DPPH	0.38	<0.001

Cu—copper, DPPH—2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging test, Se—selenium, TPC—total phenolic content, Zn—zinc.

#### 4. Discussion

Food for children should ideally possess antioxidant properties, which is why the study aimed to determine the antioxidant activity of the analyzed samples. In our study, the median TPC was found to be 37.8 mg GAE/100 g. Baby products exhibited a free radical scavenging capacity of 71.4%. In products for children, the median concentrations of Cu, Se, and Zn were respectively 7.8 mg/kg, 65.0 µg/kg, and 7.8 mg/kg.

In research conducted by Usal et al. (2020), the TPC value in fruit and vegetable-based baby food jars was reported to be  $1310.9 \pm 174.6$  mg GAE/100 g [18]. On the other hand, Carbonell-Capella et al. (2014), who investigated the antioxidant properties of 23 fruit preserves, revealed that the mousse based on apple, pear, peach, and apricot, which had undergone the cooking process, had the highest average content of phenols (234.2 mg GAE/100 g). In our study, TPC values were also the highest in processed fruit and vegetables, although they were much lower compared to those reported by other authors ( $112 \pm 65.37$  mg GAE/100 g). Additionally, our study found that freeze-dried fruit, specifically currants, pineapple, cherry, and strawberry, had the highest content of phenolic compounds, measuring 525.43 mg GAE/100 g [19].

The ability to capture free radicals in baby foods has not yet been measured, but vegetables and fruits have the highest percentage of DPPH radical scavenging [31]. In our study, fruit, and vegetable mousses were also found to have the highest DPPH value ( $100.0 \pm 17.6\%$ ). In a study by Deng et al. (2019), the scavenging rate of DPPH radicals in juices was 77% [32]. In contrast, our study found that juices for children had a much lower ability to capture free radicals ( $24.7 \pm 50.1\%$ ). Furthermore, it has been observed that the storage of juices can reduce the percentage of scavenging free radicals [33]. Baby products are pasteurized and have a long shelf life, which may explain the lower percentages in the DPPH test for baby products. Szajdek et al. (2007) found that apple-currant mousse had the highest free radical quenching activity [20]. Our study yielded similar results. The products with the highest percentage of scavenging free radicals were fruit salads containing apples and apple mousse.

Vegetable and fruit-based foods are the greatest sources of antioxidants, which is why ready-to-eat foods for children have antioxidant properties. Vegetable and fruit mousses are the least processed products, which is why they have the highest antioxidant activity. It is worth considering recommending fruit and vegetable mousses to children as an alternative to the consumption of raw fruit and vegetables because these products are some of the best sources of antioxidants.

Cu, Zn, and Se are essential micronutrients involved in many metabolic processes. The content of these elements in the tested samples showed variation. In a Spanish study by Mir-Marques et al. (2015), the percentage of AI (adequate intake) coverage in meat

dinners, fish dinners, vegetable jars, and fruit jars was examined. The research found that the dietary contribution of Cu in these complementary products for children was, on average, 42%, 30%, 46%, and 64% of the AI, respectively [21]. In our study, we estimated the percentage of EAR, and in most cases, the demand was covered. However, porridge ( $35.1 \pm 20.4\%$ ) and baby drinks ( $58 \pm 35.4\%$ ) had insufficient EAR coverage for Cu. On the other hand, children's dinners had a notably high coverage of  $167.1 \pm 89.1\%$ , and children's dairy showed an even higher coverage of  $196.4 \pm 184.1\%$ . Interestingly, fruit and vegetable mousses demonstrated a significantly higher percentage of Cu coverage ( $492.9 \pm 300\%$ ), as did hand-held snacks ( $465.2 \pm 477.3\%$ ), which is a concerning finding.

In comparison to our study, other publications have reported much lower Cu content in children's products. For example, Zand et al. (2022) evaluated the concentration of essential and trace elements in commercial food and found that the average Cu content in meat dinners was  $0.5 \text{ mg/kg}$ , while in vegetarian dinners, the content of this element was below the limit of detection (LOD) [34]. Škrbić et al. (2017) examined the content of essential elements, including Cu, in food from the Spanish and Serbian markets. In products for children on the Serbian market, the average Cu content in meat lunches was found to be  $0.46 \text{ mg/kg}$ , in vegetable jars— $0.28 \text{ mg/kg}$ , in fruit porridges— $0.75 \text{ mg/kg}$ , in corn and rice porridges— $0.56 \text{ mg/kg}$ , and in fruit yogurts— $0.44 \text{ mg/kg}$ . On the Spanish baby food market, the average Cu content in poultry-based dinners was  $0.11 \text{ mg/kg}$ , and in fish-based dinners, it was  $0.16 \text{ mg/kg}$  [23].

In a Polish study by Marzec et al. (2005), the average concentration of Cu in baby drinks was reported to be  $0.31 \text{ mg/kg}$ , and in dinners, it was  $0.42 \text{ mg/kg}$  [9]. In our study, higher Cu concentrations were obtained. Meat dinners contained from  $6 \pm 3.3 \text{ mg/kg}$  to  $7.7 \pm 2.9 \text{ mg/kg}$  Cu; vegetarian dinners had  $7.4 \pm 2.5 \text{ mg/kg}$ ; fruit porridges had  $2.2 \pm 1.2 \text{ mg/kg}$ ; yogurt had  $23.8 \pm 7.6 \text{ mg/kg}$ ; and baby drinks had  $3.4 \pm 2.1 \text{ mg/kg}$ .

In a study by Khamoni et al. (2017), the authors examined the content of Cu in baby foods and obtained similar results. The average concentration of Cu in products intended for children over 7 months old was  $11.8 \pm 0.83 \text{ mg/kg}$ , and in food for children over 10 months old, it was  $14.3 \pm 0.9 \text{ mg/kg}$  [24].

In most cases, ready-to-eat foods for children can be a source of Cu. Cereals and drinks for children can be problematic in providing the right amount of Cu. On the other hand, mousses and snacks for children provide very large amounts of Cu ( $>400\%$  of EAR) with low amounts of Zn ( $<50\%$  of EAR), which may reduce their antioxidant properties. Summing up our own and other authors' results, Cu is present in products for children in greater amounts, which is why an excess of Cu may be problematic, especially with an insufficient content of Zn.

In the UK study, Se content in baby products was similar to our results. In products intended for children aged 7 and more months, the Se content was  $8.8 \pm 2$ , while in products for children over 10 months, it was  $10.3 \pm 3 \text{ } \mu\text{g/kg}$  [24].

Ruiz-de-Cenzano et al. (2017) studied Se content in commercial baby food. The concentrations of Se in children's products ranged from  $5.4$  to  $109 \text{ } \mu\text{g/kg}$ . In our research, the Se content in products for children is very diverse ( $<\text{LOD}$ – $383.6 \text{ } \mu\text{g/kg}$ ). The highest values in the Ruiz-de-Cenzano study were recorded in fish-based dinners (from  $44$  to  $109 \text{ } \mu\text{g/kg}$ ) and meat-based dinners (from  $15$  to  $36 \text{ } \mu\text{g/kg}$ ). The lowest Se concentrations were found in products based on vegetables and fruits (below  $10 \text{ } \mu\text{g/kg}$ ) [25]. In our study, fruit, and vegetable mousses contained an average of  $80.4 \pm 37 \text{ } \mu\text{g/kg}$ , and the lowest Se values were recorded in children's lunches, with levels below  $26.7 \pm 14.3 \text{ } \mu\text{g/kg}$ . The discrepancies in the results may be attributed to variations in Se content in the soil and animal feed. It is also worth emphasizing that children's products covered  $24.3 \pm 22.9\%$  of the EAR for Se.

Among all ready-to-eat products for children, dairy is the best source of Se. Therefore, special attention should be paid to the adequate supply of Se in children on a dairy-free diet.

In a study by Butte et al. (2010), it was observed that the intake of Zn in some children was insufficient, while in another group of children up to 24 months who were



supplementing with Zn, the intake reached the recommended level [35]. Other researchers estimated that food for infants and young children covered approximately 16% of the demand for Zn [36]. Zand et al. (2011) demonstrated that the average Zn content of meat-based dinners was 5.4 mg/kg, while vegetable-based dinners had an average of 3.4 mg/kg [34]. Our study yielded similar results: meat dinners for children contained, on average,  $3.7 \pm 2.3$  mg/kg to  $6.4 \pm 1.9$  mg/kg of Zn, while vegetarian dinners contained  $7.8 \pm 9.6$  mg/kg of Zn. Zand et al. also analyzed Zn content in poultry-based and fish-based dinners, and Zn values were reported as 2 mg/kg for both types of dinners. [22]. In our study, poultry-based dinners were found to contain  $5.4 \pm 4$  mg/kg of Zn, while fish-based dinners had  $3.7 \pm 2.3$  mg/kg of Zn. Similar values were reported by Kiani et al. (2022), where the average concentration of Zn in children's products was  $1.8 \pm 0.6$  mg/kg [26].

In a study by Vallinoto et al. (2022), Zn content in children's products ranged from  $0.45 \pm 0.02$  mg/kg (apple-based product) to  $10.6 \pm 0.5$  mg/kg (meat-based lunch with vegetables). This group of researchers also observed that products containing milk in the composition had a higher concentration of Zn, which is consistent with our results because Zn is considered an important source [27].

Analogous results were also reported in the study by Khamoni et al. (2017), where products for children over 7 months contained  $8.8 \pm 0.2$  mg/kg and products for children over 10 months contained  $10.5 \pm 0.5$  mg/kg. In this study, the Cu:Zn molar ratio was also assessed, and in the group of products over 7 months, it was 3.0, while in the group of products over 10 months, it was 8.0. In our study, the molar ratio was similar at 2.8 [24].

In Marzec et al. (2005), the average concentration of Zn in children's drinks and dinners was 2.6 mg/kg (our study:  $4.2 \pm 7.8$  mg/kg) and 2.98 mg/kg (our study:  $5.3 \pm 5.1$  mg/kg), respectively [9]. An analysis of the percentage of EAR nutritional coverage by Mir-Marques et al. (2015) found that Zn accounted for 35% in meat-based dinners, 12% in fish-based dinners, 17% in vegetable jars, and 7% in fruit jars [21]. Our study yielded similar results. Baby dinners covered  $12.9 \pm 14.6\%$  of the EAR for Zn, while fruit and vegetable mousses covered  $9.7 \pm 4.6\%$  of the demand for the element.

It is also worth noting the high variability of the Cu:Zn ratio. So far, no recommended Cu/Zn ratio has been established for products intended for infants and young children. However, studies have shown that low concentrations of Zn and increased concentrations of Cu can diminish the antioxidant activity of many enzymes [4]. A high Cu:Zn ratio in the blood may indicate inflammation and a high risk of Zn deficiency in children with chronic diseases [37]. In our study, the highest Cu:Zn molar ratio was observed in fruit and vegetable mousses ( $6.5 \pm 5.4$ ), while the lowest was in children's porridges ( $0.2 \pm 0.1$ ).

Baby food is one of the most frequently purchased organic products, and, according to the ESKiMo II study, as many as 63% of children consume organic food [38]. However, there is no confirmed evidence that organic food is significantly more nutritious than conventional food [39]. Our study shows that organic food for children only contains a significantly higher amount of Zn compared to conventional food. Currently, there is insufficient scientific evidence to conclude that organic food has a significantly greater health value [40], and the American Academy of Pediatrics does not advocate choosing organic food over conventional food [41].

It is important to note that we found variations in the antioxidant activity and the levels of Cu, Se, and Zn in products for infants aged 6–12 months, those for children over 12 months, and products without an age declaration. Products intended for infants aged 6–12 months exhibited significantly higher DPPH capture percentages and higher concentrations of Cu and Se compared to products for children without an age declaration. Products designed for infants aged 6–12 months had higher values of TPC and Se when compared to products without an age specification. The lack of consistency in the composition of children's products across different age groups poses a limitation in conducting a comprehensive assessment of age categories. Consequently, we cannot ascertain the exact reason why products meant for infants aged 6–12 months may have a higher antioxidant value.

The strength of this study is that it includes a wide variety of complementary products for children and incorporates a substantial number of samples, providing a comprehensive analysis of their antioxidant properties. This research represents a pioneering effort in investigating the antioxidant properties of such a diverse range of ready-to-eat products specifically tailored for young children. Notably, our study is the largest of its kind, assessing the content of Cu, Se, Zn, and antioxidant properties in products intended for children on the Polish market. The limitation of the study is the lack of consistency in the composition of children's products; therefore, the reasons for the above results cannot be identified comprehensively.

## 5. Conclusions

Ready-made products for children possess antioxidant properties and high levels of Cu, Se, and Zn; therefore, they can support antioxidant processes. It is crucial to ensure that the nutrition of infants and young children aged 0.5–3 years is diverse to minimize the risk of inadequate antioxidant intake. Given the high molar ratio of Cu:Zn, it is worth paying attention to the appropriate consumption of Zn-rich products in children's diets, especially in the case of high consumption of fruit and vegetable mousses and low consumption of porridges.

**Supplementary Materials:** The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/nu15143160/s1>, Table S1: The content of TPC, DPPH, Cu, Se, Zn in tested dinners.; Table S2: The content of TPC, DPPH, Cu, Se, Zn in tested porridges.; Table S3: The content of TPC, DPPH, Cu, Se, Zn in tested mousses.; Table S4: The content of TPC, DPPH, Cu, Se, Zn in tested drinks.; Table S5: The content of TPC, DPPH, Cu, Se, Zn in tested hand-held snacks.; Table S6: The content of Cu, Se, Zn in tested dinners.

**Author Contributions:** Conceptualization, K.S. and A.P.-J.; methodology A.Ż. and J.S.; software, A.Ż.; formal analysis, A.Ż., K.S. and A.P.-J.; investigation, A.Ż.; resources, A.Ż.; data curation, A.Ż., and A.P.-J.; writing—original draft preparation, A.Ż.; writing—review and editing, K.S. and A.P.-J.; visualization, A.Ż. and A.P.-J. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by the Medical University of Białystok, funding number: B.SUB.23.123.

**Institutional Review Board Statement:** Not applicable.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** Detailed data are available from the authors.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analysis, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

## References

1. Global Strategy for Infant and Young Child Feeding. World Health Organization & United Nations Children's Fund (UNICEF). Available online: <https://www.who.int/publications/i/item/9241562218> (accessed on 6 June 2023).
2. Ceballos-Rasgado, M.; Lowe, N.M.; Moran, V.H.; Clegg, A.; Mallard, S.; Harris, C.; Montez, J.; Xipiti, M. Toward revising dietary zinc recommendations for children aged 0 to 3 years: A systematic review and meta-analysis of zinc absorption, excretion, and requirements for growth. *Nutr. Rev.* **2022**, *81*, 967–987. [CrossRef]
3. Ekweagwu, E.; Agwu, A.E.; Madukwe, E. The role of micronutrients in child health: A review of the literature. *Afr. J. Biotechnol.* **2008**, *7*, 3804–3810.
4. Josko Osredkar, N.S. Copper and Zinc, Biological Role and Significance of Copper/Zinc Imbalance. *J. Clinic Toxicol.* **2011**, *3*, 495. [CrossRef]
5. Jarosz, M.; Rychlik, E.; Stoś, K.; Charzewska, J. *Normy Żywienia dla Populacji Polski i ich Zastosowanie*; Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego-Państwowy Zakład Higieny Warsaw: Warsaw, Poland, 2020.
6. Vetlányi, E.; Rácz, G. The physiological function of copper, the etiological role of copper excess and deficiency. *Orv. Hetil.* **2020**, *161*, 1488–1496. [CrossRef]



7. Gaetke, L.M.; Chow, C.K. Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients. *Toxicology* **2003**, *189*, 147–163. [CrossRef] [PubMed]
8. Araya, M.; Koletzko, B.; Uauy, R. Copper deficiency and excess in infancy: Developing a research agenda. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* **2003**, *37*, 422–429. [CrossRef] [PubMed]
9. Marzec, A.; Zareba, S. Copper and zinc in food products for infants and children. *Rocz. Panstw. Zakl. Hig.* **2005**, *56*, 355–359.
10. Minich, W.B. Selenium Metabolism and Biosynthesis of Selenoproteins in the Human Body. *Biochemistry* **2022**, *87*, S102–S168. [CrossRef]
11. Mehdi, Y.; Hornick, J.L.; Istasse, L.; Dufresne, I. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules* **2013**, *18*, 3292–3311. [CrossRef]
12. Alamed, J.; Chaiyasit, W.; McClements, D.J.; Decker, E.A. Relationships between free radical scavenging and antioxidant activity in foods. *J. Agric. Food Chem.* **2009**, *57*, 2969–2976. [CrossRef]
13. Prior, R.L.; Wu, X.; Schaich, K. Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *J. Agric. Food Chem.* **2005**, *53*, 4290–4302. [CrossRef] [PubMed]
14. Dudonné, S.; Vitrac, X.; Coutière, P.; Woillez, M.; Mérillon, J.M. Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *J. Agric. Food Chem.* **2009**, *57*, 1768–1774. [CrossRef] [PubMed]
15. Commission Directive 2006/125/EC of 5 December 2006 on processed cereal-based foods and baby foods for infants and young children. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0125> (accessed on 13 July 2023).
16. Foterek, K.; Hilbig, A.; Alexy, U. Breast-feeding and weaning practices in the DONALD study: Age and time trends. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* **2014**, *58*, 361–367. [CrossRef]
17. Theurich, M.A.; Zaragoza-Jordana, M.; Luque, V.; Gruszfeld, D.; Gradowska, K.; Xhonneux, A.; Riva, E.; Verduci, E.; Poncelet, P.; Damianidi, L.; et al. Commercial complementary food use amongst European infants and children: Results from the EU Childhood Obesity Project. *Eur. J. Nutr.* **2020**, *59*, 1679–1692. [CrossRef]
18. Usal, M.; Sahan, Y. In vitro evaluation of the bioaccessibility of antioxidative properties in commercially baby foods. *J. Food Sci. Technol.* **2020**, *57*, 3493–3501. [CrossRef]
19. Carbonell-Capella, J.M.; Barba, F.J.; Esteve, M.J.; Frigola, A. Quality parameters, bioactive compounds and their correlation with antioxidant capacity of commercial fruit-based baby foods. *Food Sci. Technol. Int.* **2014**, *20*, 479–487. [CrossRef]
20. Szajdek, A.; Borowska, E.J.; Borowski, J.; Saczuk, B. Musy owocowe jako zrodlo naturalnych przeciwutleniaczy. *Żywność Nauka Technol. Jakość* **2007**, *14*, 100–108.
21. Mir-Marqués, A.; González-Masó, A.; Cervera, M.L.; de la Guardia, M. Mineral profile of Spanish commercial baby food. *Food Chem.* **2015**, *172*, 238–244. [CrossRef] [PubMed]
22. Zand, N.; Chowdhry, B.Z.; Wray, D.S.; Pullen, F.S.; Snowden, M.J. Elemental content of commercial ‘ready to-feed’ poultry and fish based infant foods in the UK. *Food Chem.* **2012**, *135*, 2796–2801. [CrossRef]
23. Škrbić, B.; Živančev, J.; Jovanović, G.; Farre, M. Essential and toxic elements in commercial baby food on the Spanish and Serbian market. *Food Addit. Contam. Part B Surveill.* **2017**, *10*, 27–38. [CrossRef]
24. Khamoni, J.A.; Hamshaw, T.; Gardiner, P.H.E. Impact of ingredients on the elemental content of baby foods. *Food Chem.* **2017**, *231*, 309–315. [CrossRef]
25. Ruiz-de-Cenzano, M.; Rochina-Marco, A.; Cervera, M.L.; de la Guardia, M. Evaluation of the Content of Antimony, Arsenic, Bismuth, Selenium, Tellurium and Their Inorganic Forms in Commercially Baby Foods. *Biol. Trace Elem. Res.* **2017**, *180*, 355–365. [CrossRef] [PubMed]
26. Kiani, A.; Arabameri, M.; Moazzen, M.; Shariatifar, N.; Aeenehvand, S.; Khaniki, G.J.; Abdel-Wahhab, M.; Shahsavari, S. Probabilistic Health Risk Assessment of Trace Elements in Baby Food and Milk Powder Using ICP-OES Method. *Biol. Trace Elem. Res.* **2022**, *200*, 2486–2497. [CrossRef] [PubMed]
27. Vallinoto, P.; Moreira, E.G.; Maihara, V.A. Estimation of daily dietary intake of essential minerals and trace elements in commercial complementary foods marketed in Brazil. *Food Chem. Adv.* **2022**, *1*, 100039. [CrossRef]
28. Weker, H.; Barańska, M.; Riahi, A.; Strucińska, M.; Więch, M.; Rowicka, G.; Dyląg, H.; Klemarczyk, W.; Bzikowska, A.; Socha, P. Nutrition of infants and young children in Poland—Pitnuts 2016. *Dev. Period Med.* **2017**, *21*, 13–28. [PubMed]
29. Djeridane, A.; Yousfi, M.; Nadjemi, B.; Boutassouna, D.; Stocker, P.; Vidal, N. Antioxidant activity of some algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chem.* **2006**, *97*, 654–660. [CrossRef]
30. Hangun-Balkir, Y.; McKenney, M. Determination of antioxidant activities of berries and resveratrol. *Green Chem. Lett. Rev.* **2012**, *5*, 147–153. [CrossRef]
31. Pérez-Lamela, C.; Franco, I.; Falqué, E. Impact of High-Pressure Processing on Antioxidant Activity during Storage of Fruits and Fruit Products: A Review. *Molecules* **2021**, *26*, 5265. [CrossRef]
32. Deng, H.; Lei, J.; Yang, T.; Liu, M.; Meng, Y.; Guo, Y.; Xue, J. Effect of ultra-high pressure and high temperature short-time sterilization on the quality of NFC apple juice during storage. *Sci. Agric. Sin.* **2019**, *52*, 3903–3923.
33. Szczepańska, J.; Pinto, C.A.; Skapska, S.; Saraiva, J.A.; Marszałek, K. Effect of static and multi-pulsed high pressure processing on the rheological properties, microbial and physicochemical quality, and antioxidant potential of apple juice during refrigerated storage. *LWT* **2021**, *150*, 112038. [CrossRef]

34. Zand, N.; Chowdhry, B.Z.; Zotor, F.B.; Wray, D.S.; Amuna, P.; Pullen, F.S. Essential and trace elements content of commercial infant foods in the UK. *Food Chem.* **2011**, *128*, 123–128. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Butte, N.F.; Fox, M.K.; Briefel, R.R.; Siega-Riz, A.M.; Dwyer, J.T.; Deming, D.M.; Reidy, K.C. Nutrient intakes of US infants, toddlers, and preschoolers meet or exceed dietary reference intakes. *J. Am. Diet Assoc.* **2010**, *110*, S27–S37. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Grimes, C.A.; Szymlek-Gay, E.A.; Campbell, K.J.; Nicklas, T.A. Food Sources of Total Energy and Nutrients among U.S. Infants and Toddlers: National Health and Nutrition Examination Survey 2005–2012. *Nutrients* **2015**, *7*, 6797–6836. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Escobedo-Monge, M.F.; Barrado, E.; Parodi-Román, J.; Escobedo-Monge, M.A.; Torres-Hinojal, M.C.; Marugán-Miguelsanz, J.M. Copper and Copper/Zn Ratio in a Series of Children with Chronic Diseases: A Cross-Sectional Study. *Nutrients* **2021**, *13*, 3578. [[CrossRef](#)]
38. Haftenberger, M.; Lehmann, F.; Lage Barbosa, C.; Brettschneider, A.K.; Mensink, G.B.M. Consumption of organic food by children in Germany—Results of EsKiMo II. *J. Health Monit.* **2020**, *5*, 19–26. [[CrossRef](#)]
39. Smith-Spangler, C.; Brandeau, M.L.; Hunter, G.E.; Bavinger, J.C.; Pearson, M.; Eschbach, P.J.; Sundaram, V.; Liu, H.; Schirmer, P.; Stave, C.; et al. Are organic foods safer or healthier than conventional alternatives? A systematic review. *Ann. Intern. Med.* **2012**, *157*, 348–366. [[CrossRef](#)]
40. Batra, P.; Sharma, N.; Gupta, P. Organic foods for children: Health or hype. *Indian Pediatr.* **2014**, *51*, 349–353. [[CrossRef](#)]
41. Forman, J.; Silverstein, J.; Committee on Nutrition; Council on Environmental Health; Bhatia, J.J.S.; Abrams, S.A.; Corkins, M.R.; de Ferranti, S.D.; Golden, N.H.; Paulson, J.A.; et al. Organic Foods: Health and Environmental Advantages and Disadvantages. *Pediatrics* **2012**, *130*, e1406–e1415. [[CrossRef](#)]

**Disclaimer/Publisher’s Note:** The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Supplementary materials

## Evaluation of Selected Antioxidant Parameters in Ready-to-eat Food For Infants And Young Children

Anita Żmudzińska\*, Anna Puścion-Jakubik, Jolanta Soroczyńska, Katarzyna Socha

Department of Bromatology, Faculty of Pharmacy with the Division of Laboratory Medicine, Medical University of Białystok, Mickiewicza 2D Street, 15-222 Białystok, Poland; anita.zmudzinska@sd.umb.edu.pl (A.Ż.); anna.puscion-jakubik@umb.edu.pl (A.P.-J.); jolanta.soroczynska@umb.edu.pl (J.S.); katarzyna.socha@umb.edu.pl (K.S.)

\* Correspondence: anita.zmudzinska@sd.umb.edu.pl; Tel.: +48-8574-854-69.

**Table S1.** The content of TPC, DPPH, Cu, Se, Zn in tested dinners.

Type of Dinners	TPC (mg GAE/100 g)	DPPH (% Free Radical Scavenging)	Cu (mg/kg)	Se (µg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu:Zn molar ratio
<b>Poultry dinners (n = 23)</b>	28.1 ± 17.3 (0-74.5) 25.6 (15.5-38.5)	68.4 ± 24.2 (0-93.1) 77.4 (62.5-82.7)	7.3 ± 2.6 (3.1-15.6) 7.1 (62.5-82.7)	18.9 ± 8.3 (5.3-39.5) 16.6 (13.2-25.5)	5.4 ± 4 (1.4-16.4) 3.6 (3.1-6.7)	1.9 ± 1.1 (0.4-4.8) 1.6 (1.3-2.4)
<b>Beef dinners (n = 16)</b>	36.5 ± 17.5 (7.3-80.5) 35.8 (25.9-46.2)	65.5 ± 18.9 (19.7-91.8) 69.6 (55.1-78.1)	7.7 ± 2.2 (4.5-11.6) 7.5 (5.8-9.4)	23.4 ± 11.4 (8.3-44.9) 21.2 (15.7-27.2)	6.4 ± 1.9 (1.8-8.5) 6.7 (5.5-7.9)	1.5 ± 1.1 (0.5-5.4) 1.1 (0.9-1.8)
<b>Pork dinners (n = 15)</b>	Av ± SD Min-Max 23.3 ± 16.7 (4.7-54.8) 19.9 (9.7-33.6)	66.5 ± 27.8 (0-96.9) 70.2 (63.6-84.5)	7.1 ± 1.5 (4-10.4) 7.2 (6.3-7.9)	28.5 ± 16.9 (5.3-76.4) 24.9 (17-36.8)	3.7 ± 1.3 (1.5-6.5) 3.8 (3.3-4.1)	2.2 ± 0.8 (1.3-4.0) 1.8 (1.7-2.5)
<b>Fish dinners (n = 19)</b>	Me Q1-Q3 22.9 ± 17.6 (2.4-61.3) 17.3 (7.6-33.3)	62.2 ± 19.3 (25.9-91.9) 64.8 (48.6-80.6)	7.7 ± 2.9 (3.7-12.6) 7.5 (5.1-10.1)	26.8 ± 16.6 (7-72) 21.7 (15.1-32.2)	3.7 ± 2.3 (1.3-9.6) 17.3 (7.6-33.3)	2.7 ± 1.5 (0.8-6.4) 2.5 (1.4-3.3)
<b>Rabbit dinners (n = 11)</b>	30.2 ± 26.4 (1.1-84.4) 30.2 (5.6-41.2)	48.5 ± 35.4 (0-91) 55.4 (14.5-82.4)	6 ± 3.3 (1.9-11.2) 7.1 (1.9-8.6)	28 ± 16.7 (6.7-60.2) 22.8 (16.4-39.8)	4 ± 4.2 (0.8-16.2) 2.7 (1.9-4.2)	1.9 ± 0.8 (0.7-3.2) 2.1 (1.0-2.4)
<b>Vegetarian dinners (n = 19)</b>	34.3 ± 37.2 (3.3-181.6) 26.6 (20.7-35.7)	40.5 ± 40.1 (0-87.7) 60.4 (14.1-66.7)	7.4 ± 2.5 (3.4-15.5) 7 (6.2-8)	36.7 ± 11.4 (20.5-58.8) 31.9 (26.9-47.7)	7.8 ± 9.6 (2.3-46.3) 4.7 (3.9-7.8)	1.5 ± 0.8 (0.1-3.0) 1.3 (0.8-2.1)

Av—average, Cu—copper, DPPH—2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging test, GAE—gallic acid, Max—maximum, Me—median, Min—minimum, n—number of samples, Q1—quartile 1, Q2—quartile 2, SD—standard deviation, Se—selenium, TPC—total phenolic content, Zn—zinc

**Table S2.** The content of TPC, DPPH, Cu, Se, Zn and Cu:Zn molar ratio in tested porridges.

20

21

Type of Porridges	TPC (mg GAE/100 g)	DPPH (% Free Radical Scavenging)	Cu (mg/kg)	Se (µg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu:Zn molar ratio
Milk porridges (n = 12)	52.7 ± 54.9 (3.6-205.8)	74.2 ± 21 (44-97)	5.6 ± 2.1 (3-9.2)	32.2 ± 25.8 (9.5-106.2)	36.9 ± 22.8 (12.4-93.3)	0.2 ± 0.1 (0.1-0.4)
Milk and fruit porridges (n = 14)	44.9 ± 39.7 (7.5-138.2)	61.1 ± 30.8 (0-92.7)	2.2 ± 1.2 (1.1-4.9)	109 ± 169.6 (11.2-686.6)	23.8 ± 9.0 (12-38.5)	0.1 ± 0.1 (0-0.2)
	Av ± SD Min-Max					
	33.3 (16.6-71.4)	93.3 (49.4-90.7)	5.6 (3.6-7.2)	27.4 (16.9-34.5)	34.4 (18.5-44)	0.2 (0.1-0.2)
	39.3 (15.4-51)	68.3 (59.1-79.9)	2 (59-80)	70.4 (56.7-74.6)	22.7 (18.2-28.8)	0.1 (0.1-0.2)
	Me					
	34.7 ± 31.2 (5.5-88.4)	57.1 ± 37 (0-84.4)	3.9 ± 2.2 (0.5-7.8)	32.2 ± 18 (5.2-70.6)	27.8 ± 14.9 (3.7-52.9)	0.2 ± 0.1 (0-0.3)
	Q1-Q3					
	26.2 (6-69.2)	72.7 (54.7-79.8)	3.8 (2.5-5.4)	32.2 (23.7-40.1)	25 (18.4-39.3)	0.2 (0.1-0.2)
Cereal gluten free porridges (n = 14)	45.4 ± 54.9 (4.4-206)	79.2 ± 12.4 (44-90.3)	3.7 ± 1.9 (1-7.5)	39 ± 23.7 (17.2-94.3)	33.4 ± 15.8 (9.4-75.7)	0.1 ± 0.1 (0-0.4)
	25.6 (12.5-59.5)	83.7 (75.4-87.4)	3.7 (75.4-87.4)	32 (19.8-54.2)	31.5 (26.4-36.9)	0.1 (0.1-0.2)

Av—average, Cu—copper, DPPH—2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging test, GAE—gallic acid, Max—maximum, Me—median, Min—minimum, n—number of samples, Q1—quartile 1, Q2— quartile 2, SD—standard deviation, Se—selenium, TPC—total phenolic content, Zn—zinc

22

23

24

25

26

**Table S3.** The content of TPC, DPPH, Cu, Se, Zn and Cu:Zn molar ratio in tested mousses.

27

Type of Mousses	TPC (mg GAE/100 g)	DPPH (% Free Radical Scavenging)	Cu (mg/kg)	Se (µg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu:Zn molar ratio
Fruit and vegetable (n=48)	118.1 ± 64.5 (6.5-250.8)	93 ± 6.7 (64.7-99.6)	11.6 ± 7.1 (2.2-39.5)	78.1 ± 34.9 (24.1-148.6)	2.3 ± 1 (0.7-4.8)	5.4 ± 3.8 (3.0-12.7)
	114.2 (65.8-167.4)	95.3 (92.3-97)	9.6 (7.7-14.2)	81 (65.9-84.3)	14.2 (65.8-167.4)	3.5 (3.1-4.6)
Fruit (n = 14)	83.1 ± 64.9 (9-187.6)	81.1 ± 39.8 (0-99.5)	8.3 ± 3.7 (4-16.4)	76.2 ± 34.8 (0-150.1)	1.7 ± 64.9 (9-187.6)	7.7 ± 6.1 (1.2-30.9)
	76.4 (22-122.5)	95.9 (87.2-97.4)	7.7 (6.3-9.9)	73 (53.4-100.2)	1.6 (1.1-2.3)	5.6 (4.2-9.9)
	Av ± SD					
	92.5 ± 62.3 (29.7-199.8)	95.6 ± 1.43 (26.7-93.3)	11.6 ± 7.4 (3-23.9)	91.3 ± 48.9 (37.7-175.7)	2.1 ± 0.7 (3.2-1.8)	5.6 ± 2.8 (1.5-10.2)
	Min-Max					
	87.1 (36.4-115)	95.6 (94.8-96.6)	9.2 (8-16.4)	86.9 (53.3-107.2)	2 (8-16.4)	5.2 (4.8-6.9)
	Me					
	47.7 ± 39.4 (16.4-119.3)	93.8 ± 5.1 (86.1-99.6)	12 ± 13.8 (2.6-39.5)	78 ± 42 (38.8-145)	3 ± 0.8 (2.2-4.3)	4.7 ± 6.2 (0.8-17.2)
	Q1-Q3					
	36.7 (19.2-57)	95.3 (89.3-97)	7.8 (4-10.4)	70.7 (45.8-95.9)	2.8 (2.3-3.4)	2.5 (1.9-3.2)
	31.7 ± 18.6 (9-50.6)	55.4 ± 57.6 (0-87.2)	7.1 ± 1.2 (2.2-11.1)	106.7 ± 39.5 (54.1-149.9)	2.1 ± 1.2 (1-3.7)	3.7 ± 1.7 (2.0-5.6)
	33.6 (16.9-46.6)	82.7 (1.2-3.1)	7.7 (4.8-9.5)	111.5 (82.1-131.3)	2 (1.2-3.1)	3.5 (2.3-5.1)

Av—average, Cu—copper, DPPH—2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging test, GAE—gallic acid, Max—maximum, Me—median, Min—minimum, n—number of samples, Q1—quartile 1, Q2— quartile 2, SD—standard deviation, Se—selenium, TPC—total phenolic content, Zn—zinc

28

29

30

31

32



33

**Table S4.** The content of TPC, DPPH, Cu, Se, Zn and Cu:Zn molar ratio in tested drinks.

34

Type of Drinks		TPC (mg GAE/100 g)	DPPH (% Free Radical Scavenging)	Cu (mg/kg)	Se (µg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu:Zn molar ratio
Fruit drinks and Water (n = 21)	Av ± SD	43.1 ± 47 (0-164)	18.9 ± 36.8 (0-76.8)	4.7 ± 2.4 (1.6-8.1)	195.2 ± 160.3 (28.8-567.2)	10.0 ± 11.8 (0.1-39)	6.0 ± 14.5 (0.2-62.5)
	Min-Max	32.2 (5.3-70.1)	35.8 (0-45.1)	5.5 (1.9-6.6)	105.7 (82.5-330.3)	3.2 (1.1-18)	6.0 (0.4-62.5)
Fruit juices (n = 43)	Me	91.9 ± 53 (0-241.9)	24.7 ± 50.1 (0-87.4)	2.7 ± 1.5 (1.3-8.7)	78.4 ± 36.6 (0-201.8)	1.4 ± 1.1 (0.4-5.5)	2.9 ± 2.0 (0.3-10.5)
	Q1-Q3	86.9 (57.7-117.3)	33.7 (4.4-56.6)	1.9 (1.7-4)	77.5 (47.2-102.7)	1 (0.7-1.9)	2.6 (1.6-4.0)

Av—average, Cu—copper, DPPH—2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging test, GAE—gallic acid, Max—maximum, Me—median, Min—minimum, n—number of samples, Q1—quartile 1, Q2—quartile 2, SD—standard deviation, Se—selenium, TPC—total phenolic content, Zn—zinc

35

36

37

38

39

**Table S5.** The content of TPC, DPPH, Cu, Se, Zn and Cu:Zn molar ratio in tested snacks “for the hand”.

40

41

Type of Snacks “for the hand”		TPC (mg GAE/100 g)	DPPH (% Free Radical Scavenging)	Cu (mg/kg)	Se (µg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu:Zn molar ratio
Waffle / Crips (n = 29)	Av ± SD	80.8 ± 110.6 (0-507.2)	67.9 ± 29.8 (0-89.7)	10.8 ± 3.6 (2.9-20.6)	80.6 ± 21 (30.1-110.9)	15.5 ± 8.4 (3.9-41.5)	1.0 ± 0.7 (0.2-2.9)
	Min-Max	42 (12.1-94)	76.9 (70.6-81.8)	10.7 (8.7-12.4)	83.4 (69.5-95.8)	14.3 (11.4-19.2)	1.0 (0.5-1.1)
Biscuits / Cookies (n = 22)	Me	61.3 ± 109.7 (7.2-525.4)	63.5 ± 39.2 (0-91.7)	18.8 ± 23.6 (3.8-90.7)	69.3 ± 19.5 (24.1-97.8)	16.4 ± 13.6 (5.5-69.4)	1.3 ± 1.2 (0.3-6.2)
	Q1-Q3	24.1 (16.6-65.4)	80.6 (48.3-86.1)	11.9 (8.4-15.6)	72.4 (61.1-81.6)	14 (8.2-15.8)	1.3 (0.7-1.3)
Fruit bars (n = 12)	Av ± SD	49.7 ± 69.8 (0-254.8)	69.2 ± 15.3 (45.1-89.8)	14.5 ± 6.7 (7.6-29.1)	80.2 ± 25.1 (36.6-122.2)	20.1 ± 9.8 (7.8-38.5)	0.9 ± 0.6 (0.3-1.8)
	Min-Max	22.7 (15.6-51.8)	22.7 (15.6-51.8)	12 (10.9-15.8)	77.9 (64.3-99.4)	20.6 (12.5-24.6)	0.9 (0.4-1.5)

Av—average, Cu—copper, DPPH—2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging test, GAE—gallic acid, Max—maximum, Me—median, Min—minimum, n—number of samples, Q1—quartile 1, Q2—quartile 2, SD—standard deviation, Se—selenium, TPC—total phenolic content, Zn—zinc

42

43

44

45

**Table S6.** The content of Cu, Se, Zn and Cu:Zn molar ratio in tested dinners.

46

Type of Dairy		Cu (mg/kg)	Se (µg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu: Zn molar ratio
Yellow cheese (n = 28)	Av ± SD	17.9 ± 7.4 (11.5-38.6)	183. ± 99.3 (48.1-454.7)	38.4 ± 11.6 (4.4-54.4)	0.9 ± 1.1 (0.3-4.1)
	Min-Max	15.3 (13.3-18)	164.2 (120.2-214.5)	40.5 (37.2-42.7)	0.9 (0.3-0.7)
Yogurt (n = 32)	Me	23.8 ± 7.6 (13.3-51.7)	147 ± 68.2 (47.5-341.3)	4.4 ± 1.4 (2-7.4)	6.4 ± 2.4 (1.8-11.2)
	Q1-Q3	22.1 (20.4-26.6)	132.6 (110.4-174.5)	1.6 (3.3-5.1)	5.8 (5.0-8.1)

Av—average, Cu—copper, GAE—gallic acid, Max—maximum, Me—median, Min—minimum, n—number of samples, Q1—quartile 1, Q2—quartile 2, SD—standard deviation, Se—selenium, Zn—zinc

47

48

### 13. Zgoda Komisji Bioetycznej

KOMISJA BIOETYCZNA  
PRZY UNIWERSYTECIE MEDYCZNYM W BIAŁYMSTOKU  
ul. Jana Kilińskiego 1  
15-089 Białystok  
tel. 85 748 54 07, fax 85 748 55 08  
komisjabioetyczna@umb.edu.pl

---

Białystok, 25.03.2021 r.

Uchwała nr: APK.002.181.2021

Na podstawie art. 29 ust. 2 i 14 ustawy dnia 5 grudnia 1996 r. o zawodach lekarza i lekarza dentystry (t.j. Dz. U z 2020, poz. 514 ze zm.), Komisja Bioetyczna przy Uniwersytecie Medycznym w Białymstoku, po zapoznaniu się z projektem badania zgodnie z zasadami GCP/ Guidelines for Good Clinical Practice /- **w y r a ż a z g o d ę** na prowadzenie tematu badawczego: „Ocena bezpieczeństwa pod względem zawartości pierwiastków toksycznych oraz właściwości przeciwutleniających wybranych produktów przeznaczonych dla dzieci” przez mgr Anitę Mielech wraz z zespołem badawczym z UMB.

Planowany okres realizacji od 25.03.2021 r. do 31.06.2024 r.

Przewodnicząca Komisji Bioetycznej przy UMB

prof. dr hab. Otylia Kowal-Bielecka

*Powinno:*

1. Odwołanie od uchwały komisji bioetycznej wyrażającej opinię może wnieść:
  - 1) wnioskodawca
  - 2) kierownik podmiotu, w którym eksperyment medyczny ma być przeprowadzony;
  - 3) komisja bioetyczna właściwa dla ośrodka, który ma uczestniczyć w wielośrodkowym eksperymencie medycznym.
2. Odwołanie, o którym mowa w ust. 1, wnosi się za pośrednictwem komisji bioetycznej, która podjęła uchwałę, do Odwoławczej Komisji Bioetycznej w terminie 14 dni od dnia doręczenia uchwały wyrażającej opinię.

## 14. Oświadczenia autora rozprawy doktorskiej

Białystok, 30.10.2023r

**mgr Anita Żmudzińska**  
Imię i nazwisko współautora

**Zakład Bromatologii**  
**Wydział Farmaceutyczny**  
**z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej**  
**Uniwersytet Medyczny w Białymstoku**  
Miejsce pracy/afiliacja

### Oświadczenie autora

Oświadczam, iż mój udział w przygotowaniu publikacji:

1. **Mielech A.**, Puścion-Jakubik A., Socha, K. Assessment of the Risk of Contamination of Food for Infants and Toddlers. *Nutrients* 2021; 13, doi: 10.3390/nu13072358
2. **Żmudzińska A.**, Puścion-Jakubik A., Bielecka J., Grabia M., Soroczyńska J., Mielcarek K., Socha K. Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5-3 Years on the Polish Market. *Nutrients* 2022; 14, doi: 10.3390/nu14112325
3. **Żmudzińska A.**, Puścion-Jakubik A., Soroczyńska J., Socha K. Evaluation of Selected Antioxidant Parameters in Ready-to-Eat Food for Infants and Young Children. *Nutrients* 2023; 15, doi: 10.3390/nu15143160

wchodzących w skład mojej rozprawy doktorskiej polegał na udziale opracowaniu koncepcji, metodologii i planu badań, walidacji metod badawczych, przeprowadzeniu części eksperymentalnej, interpretacji wyników, analizie statystycznej, przygotowaniu manuskryptów oraz pozyskania źródeł finansowania, co określam jako 70% udziału w przygotowaniu w/w publikacji.

*Żmudzińska Anita*  
Podpis (czytelny)

\* W przypadku prac dwu- lub wieloautorskich zaleca się złożenie oświadczenia przez współautora wskazujące na jego merytoryczny (a nie procentowy) wkład w powstanie pracy (np. twórca hipotezy badawczej, pomysłodawca badań, wykonanie specyficznych badań (np. przeprowadzenie konkretnych doświadczeń, opracowanie i zebranie danych, wykonanie zestawień statystycznych itp.), wykonanie analizy wyników, przygotowanie manuskryptu artykułu, i inne). Określenie wkładu danego współautora powinno być na tyle precyzyjne, aby umożliwić dokładną ocenę jego udziału i roli w powstaniu każdej pracy

## 15. Oświadczenia współautorów publikacji stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej

Białystok, 31.10.23r.

prof. dr hab. Katarzyna Socha  
Imię i nazwisko współautora

Zakład Bromatologii  
Wydział Farmaceutyczny  
z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej  
Uniwersytet Medyczny w Białymstoku  
Miejsce pracy/afiliacja

### Oświadczenie współautora

Oświadczam, iż mój udział w przygotowaniu publikacji:

1. Mielech A., Puścion-Jakubik A., **Socha K.** Assessment of the Risk of Contamination of Food for Infants and Toddlers. *Nutrients* 2021; 13, doi: 10.3390/nu13072358

wchodzącej w skład rozprawy doktorskiej Pani mgr Anity Żmudzińskiej polegał na udziale w opracowaniu koncepcji, metodologii badań, analizie formalnej oraz nadzorze merytorycznym nad przygotowaniem manuskryptu.

2. Żmudzińska A., Puścion-Jakubik A., Bielecka J., Grabia M., Soroczyńska J., Mielcarek K., **Socha K.** Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5-3 Years on the Polish Market. *Nutrients* 2022; 14, doi: 10.3390/nu14112325

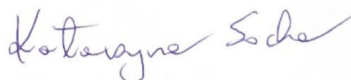
wchodzącej w skład rozprawy doktorskiej Pani mgr Anity Żmudzińskiej polegał na udziale w opracowaniu koncepcji, metodologii badań, oznaczaniu zawartości pierwiastków, analizie formalnej oraz nadzorze merytorycznym nad przygotowaniem manuskryptu.

3. Żmudzińska A., Puścion-Jakubik A., Soroczyńska J., **Socha K.** Evaluation of Selected Antioxidant Parameters in Ready-to-Eat Food for Infants and Young Children. *Nutrients* 2023; 15, doi: 10.3390/nu15143160

wchodzącej w skład rozprawy doktorskiej Pani mgr Anity Żmudzińskiej polegał na udziale w opracowaniu koncepcji, oznaczaniu zawartości pierwiastków, analizie formalnej oraz nadzorze merytorycznym nad przygotowaniem manuskryptu.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionych prac przez Panią mgr Anitę Żmudzińską jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie cyklu prac opublikowanych w czasopiśmie naukowych.

Podpis (czytelny)





\* W przypadku prac dwu- lub wieloautorskich zaleca się złożenie oświadczenia przez współautora wskazujące na jego merytoryczny (a nie procentowy) wkład w powstanie pracy (np. twórca hipotezy badawczej, pomysłodawca badań, wykonanie specyficznych badań (np. przeprowadzenie konkretnych doświadczeń, opracowanie i zebranie danych, wykonanie zestawień statystycznych itp.), wykonanie analizy wyników, przygotowanie manuskryptu artykułu, i inne). Określenie wkładu danego współautora powinno być na tyle precyzyjne, aby umożliwić dokładną ocenę jego udziału i roli w powstaniu każdej pracy.

Białystok, 31.10.2023r.

**dr hab. Anna Puścion - Jakubik**

Imię i nazwisko współautora

Zakład Bromatologii  
Wydział Farmaceutyczny  
z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej  
Uniwersytet Medyczny w Białymstoku  
Miejsce pracy/afiliacja

#### Oświadczenie współautora

Oświadczam, iż mój udział w przygotowaniu publikacji:

1. Mielech A., **Puścion-Jakubik A.**, Socha, K. Assessment of the Risk of Contamination of Food for Infants and Toddlers. *Nutrients* 2021; 13, doi: 10.3390/nu13072358

wchodzącej w skład rozprawy doktorskiej Pani mgr Anity Żmudzińskiej polegał na udziale w opracowaniu koncepcji, analizie formalnej, walidacji metod badawczych, wizualizacji danych oraz nadzorze merytorycznym nad przygotowaniem manuskryptu.

2. Żmudzińska A., **Puścion-Jakubik A.**, Bielecka J., Grabia M., Soroczyńska J., Mielcarek K., Socha K. Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5-3 Years on the Polish Market. *Nutrients* 2022; 14, doi: 10.3390/nu14112325

wchodzącej w skład rozprawy doktorskiej Pani mgr Anity Żmudzińskiej polegał na udziale w opracowaniu koncepcji, analizie formalnej, walidacji metod badawczych, wizualizacji danych oraz nadzorze merytorycznym nad przygotowaniem manuskryptu.

3. Żmudzińska A., **Puścion-Jakubik A.**, Soroczyńska J., Socha K. Evaluation of Selected Antioxidant Parameters in Ready-to-Eat Food for Infants and Young Children. *Nutrients* 2023; 15, doi: 10.3390/nu15143160

wchodzącej w skład rozprawy doktorskiej Pani mgr Anity Żmudzińskiej polegał na udziale w opracowaniu koncepcji, analizie formalnej, walidacji metod badawczych, wizualizacji danych oraz nadzorze merytorycznym nad przygotowaniem manuskryptu.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionych prac przez Panią mgr Anitę Żmudzińską jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie cyklu prac opublikowanych w czasopiśmie naukowych.

  
Podpis (czytelny)

\* W przypadku prac dwu- lub wieloautorских zaleca się złożenie oświadczenia przez współautora wskazujące na jego merytoryczny (a nie procentowy) wkład w powstanie pracy (np. twórca hipotezy badawczej, pomysłodawca badań, wykonanie specyficznych badań (np. przeprowadzenie konkretnych doświadczeń, opracowanie i zebranie danych, wykonanie zestawień statystycznych itp.), wykonanie analizy wyników, przygotowanie manuskryptu artykułu, i inne). Określenie wkładu danego współautora powinno być na tyle precyzyjne, aby umożliwić dokładną ocenę jego udziału i roli w powstaniu każdej pracy.

Białystok, 31.10.2023

**dr n. farm Jolanta Soroczyńska**  
Imię i nazwisko współautora

**Zakład Bromatologii**  
**Wydział Farmaceutyczny**  
**z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej**  
**Uniwersytet Medyczny w Białymstoku**  
Miejsce pracy/afiliacja

#### Oświadczenie współautora

Oświadczam, iż mój udział w przygotowaniu publikacji:

1. Żmudzińska A., Puścion-Jakubik A., Bielecka J., Grabia M., **Soroczyńska J.**, Mielcarek K., Socha K. Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5-3 Years on the Polish Market. *Nutrients* 2022; 14, doi: 10.3390/nu14112325

wchodzącej w skład rozprawy doktorskiej Pani mgr Anity Żmudzińskiej polegał na udziale w opracowaniu metodologii oraz przygotowaniu materiałów i prób badawczych oraz oznaczeniach pierwiastków.

2. Żmudzińska A., Puścion-Jakubik A., **Soroczyńska J.**, Socha K. Evaluation of Selected Antioxidant Parameters in Ready-to-Eat Food for Infants and Young Children. *Nutrients* 2023; 15, doi: 10.3390/nu15143160

wchodzącej w skład rozprawy doktorskiej Pani mgr Anity Żmudzińskiej polegał na udziale w opracowaniu metodologii oraz przygotowaniu materiałów i prób badawczych oraz oznaczeniach pierwiastków.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionych prac przez Panią mgr Anitę Żmudzińską jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie cyklu prac opublikowanych w czasopiśmie naukowych.

Podpis (czytelny)

Jolanta Soroczyńska



\* W przypadku prac dwu- lub wieloautorskich zaleca się złożenie oświadczenia przez współautora wskazujące na jego merytoryczny (a nie procentowy) wkład w powstanie pracy (np. twórca hipotezy badawczej, pomysłodawca badań, wykonanie specyficznych badań (np. przeprowadzenie konkretnych doświadczeń, opracowanie i zebranie danych, wykonanie zestawień statystycznych itp.), wykonanie analizy wyników, przygotowanie manuskryptu artykułu, i inne). Określenie wkładu danego współautora powinno być na tyle precyzyjne, aby umożliwić dokładną ocenę jego udziału i roli w powstaniu każdej pracy.

Białystok, 05.10.2023 r.

**mgr Joanna Bielecka**  
Imię i nazwisko współautora

**Zakład Bromatologii**  
**Wydział Farmaceutyczny**  
**z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej**  
**Uniwersytet Medyczny w Białymstoku**  
Miejsce pracy/afiliacja

#### Oświadczenie współautora

Oświadczam, iż mój udział w przygotowaniu publikacji:

1. Żmudzińska A., Puścion-Jakubik A., **Bielecka J.**, Grabia M., Soroczyńska J., Mielcarek K., Socha K. Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5-3 Years on the Polish Market. *Nutrients* 2022; 14, doi: 10.3390/nu14112325

wchodzącej w skład rozprawy doktorskiej Pani mgr Anity Żmudzińskiej polegał na udziale w opracowaniu metodologii.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionych prac przez Panią mgr Anitę Żmudzińską jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie cyklu prac opublikowanych w czasopiśmie naukowych.

*Joanna Bielecka*  
Podpis (czytelny)

\* W przypadku prac dwu- lub wieloautorskich zaleca się złożenie oświadczenia przez współautora wskazujące na jego merytoryczny (a nie procentowy) wkład w powstanie pracy (np. twórca hipotezy badawczej, pomysłodawca badań, wykonanie specyficznych badań (np. przeprowadzenie konkretnych doświadczeń, opracowanie i zebranie danych, wykonanie zestawień statystycznych itp.), wykonanie analizy wyników, przygotowanie manuskryptu artykułu, i inne). Określenie wkładu danego współautora powinno być na tyle precyzyjne, aby umożliwić dokładną ocenę jego udziału i roli w powstaniu każdej pracy.

Białystok, 05.10.2023r.

**mgr Monika Grabia**  
Imię i nazwisko współautora

**Zakład Bromatologii**  
**Wydział Farmaceutyczny**  
**z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej**  
**Uniwersytet Medyczny w Białymstoku**  
Miejsce pracy/afiliacja

#### Oświadczenie współautora

Oświadczam, iż mój udział w przygotowaniu publikacji:

1. Żmudzińska A., Puścion-Jakubik A., Bielecka J., **Grabia M.**, Soroczyńska J., Mielcarek K., Socha K. Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5-3 Years on the Polish Market. *Nutrients* 2022; 14, doi: 10.3390/nu14112325

wchodzącej w skład rozprawy doktorskiej Pani mgr Anity Żmudzińskiej polegał na udziale w opracowaniu metodologii.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionych prac przez Panią mgr Anitę Żmudzińską jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie cyklu prac opublikowanych w czasopismach naukowych.

*Grabia Monika*

Podpis (czytelny)



\* W przypadku prac dwu- lub wieloautorskich zaleca się złożenie oświadczenia przez współautora wskazujące na jego merytoryczny (a nie procentowy) wkład w powstanie pracy (np. twórca hipotezy badawczej, pomysłodawca badań, wykonanie specyficznych badań (np. przeprowadzenie konkretnych doświadczeń, opracowanie i zebranie danych, wykonanie zestawień statystycznych itp.), wykonanie analizy wyników, przygotowanie manuskryptu artykułu, i inne). Określenie wkładu danego współautora powinno być na tyle precyzyjne, aby umożliwić dokładną ocenę jego udziału i roli w powstaniu każdej pracy.

Białystok, 30.10.23r.

**dr n. farm Konrad Mielcarek**  
Imię i nazwisko współautora

**Zakład Bromatologii**  
**Wydział Farmaceutyczny**  
**z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej**  
**Uniwersytet Medyczny w Białymstoku**  
Miejsce pracy/afiliacja

#### Oświadczenie współautora

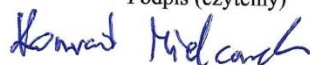
Oświadczam, iż mój wkład w przygotowaniu publikacji:

1. Żmudzińska A., Puścion-Jakubik A., Bielecka J., Grabia M., Soroczyńska J., Mielcarek K., Socha K. Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5-3 Years on the Polish Market. *Nutrients* 2022; 14, doi: 10.3390/nu14112325

wchodzącej w skład rozprawy doktorskiej Pani mgr Anity Żmudzińskiej polegał na udziale w opracowaniu metodologii.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie wyżej wymienionych prac przez Panią mgr Anitę Żmudzińską jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie cyklu prac opublikowanych w czasopismach naukowych.

Podpis (czytelny)



\* W przypadku prac dwu- lub wieloautorskich zaleca się złożenie oświadczenia przez współautora wskazujące na jego merytoryczny (a nie procentowy) wkład w powstanie pracy (np. twórca hipotezy badawczej, pomysłodawca badań, wykonanie specyficznych badań (np. przeprowadzenie konkretnych doświadczeń, opracowanie i zebranie danych, wykonanie zestawień statystycznych itp.), wykonanie analizy wyników, przygotowanie manuskryptu artykułu, i inne). Określenie wkładu danego współautora powinno być na tyle precyzyjne, aby umożliwić dokładną ocenę jego udziału i roli w powstaniu każdej pracy.

## 16. Dorobek naukowy i działalność organizacyjna

Łączna wartość Impact Factor całego dorobku naukowego:	<b>65,661</b>
Łączna ilość punktów MNiSW całego dorobku naukowego:	<b>1140</b>
Index Hirsha:	<b>7</b>
Łączna liczba cytowań:	<b>112</b>

### 16.1 Wykaz publikacji stanowiących rozprawę doktorską

Łączna wartość Impact Factor dla cyklu publikacji:	<b>18,506</b>
Łączna ilość punktów MNiSW dla cyklu publikacji:	<b>420</b>

1. **Mielech A.**; Puścion-Jakubik A.; Socha K. Assessment of the Risk of Contamination of Food for Infants and Toddlers. *Nutrients* 2021, 13, 2358. <https://doi.org/10.3390/nu13072358>
2. **Żmudzińska A.**; Puścion-Jakubik A.; Bielecka J.; Grabia M.; Soroczyńska J.; Mielcarek K.; Socha K. Health Safety Assessment of Ready-to-Eat Products Consumed by Children Aged 0.5–3 Years on the Polish Market. *Nutrients* 2022, 14, 2325. <https://doi.org/10.3390/nu14112325>
3. **Żmudzińska A.**; Puścion-Jakubik A.; Soroczyńska J.; Socha K. Evaluation of Selected Antioxidant Parameters in Ready-to-Eat Food for Infants and Young Children. *Nutrients* 2023, 15, 3160. <https://doi.org/10.3390/nu15143160>

### 16.2 Wykaz innych publikacji naukowych

Łączna wartość Impact Factor innych publikacji:	<b>47,155</b>
Łączna ilość punktów MNiSW innych publikacji:	<b>720</b>



1. **Mielech, A.**; Puścion-Jakubik, A.; Markiewicz-Żukowska, R.; Socha, K. Vitamins in Alzheimer's Disease—Review of the Latest Reports. *Nutrients* 2020, 12, 3458. <https://doi.org/10.3390/nu12113458>
2. Puścion-Jakubik, A.; Markiewicz-Żukowska, R.; Naliwajko, S.K.; Gromkowska-Kępa, K.J.; Moskwa, J.; Grabia, M.; **Mielech, A.**; Bielecka, J.; Karpińska, E.; Mielcarek, K.; Nowakowski, P.; Socha, K. Intake of Antioxidant Vitamins and Minerals in Relation to Body Composition, Skin Hydration and Lubrication in Young Women. *Antioxidants* 2021, 10, 1110.
3. Puścion-Jakubik A., **Mielech A.**, Abramiuk D., Iwaniuk M., Grabia M., Bielecka J., Markiewicz-Żukowska R., Socha K. Mercury Content in Dietary Supplements From Poland Containing Ingredients of Plant Origin: A Safety Assessment. *Front Pharmacol.* Nov 2021 3, 738549.
4. Bielecka, J.; Markiewicz-Żukowska, R.; Nowakowski, P.; Puścion-Jakubik, A.; Grabia, M.; **Mielech, A.**; Soroczyńska, J.; Socha, K. Identifying the Food Sources of Selected Minerals for the Adult European Population among Rice and Rice Products. *Foods* 2021, 10, 1251.
5. Grabia M., Puścion-Jakubik A., Markiewicz-Żukowska R., Bielecka J., **Mielech A.**, Nowakowski P., Socha K. Adherence to mediterranean diet and selected lifestyle elements among young women with type 1 diabetes mellitus from northeast poland: a case-control COVID-19 survey. *Nutrients* 2021, 13, 1173.
6. Puścion-Jakubik A., Bielecka J., Grabia M., **Mielech A.**, Markiewicz-Żukowska R., Mielcarek K., Moskwa J., Naliwajko S., Soroczyńska J., Gromkowska-Kępa K., Nowakowski P., Socha K. Consumption of food supplements during the three COVID-19 waves in Poland - focus on zinc and vitamin D. *Nutrients* 2021, 13, 3361.
7. Mielcarek K., Nowakowski P., Puścion-Jakubik A., J. Gromkowska-Kępa K., Soroczyńska J., Markiewicz-Żukowska R., K. Naliwajko S., Grabia M., Bielecka J., **Żmudzińska A.**, Moskwa J., Karpińska E., Socha K. Arsenic, cadmium, lead and mercury content and health risk assessment of consuming freshwater fish with elements of chemometric analysis, *Food Chemistry* 2022, 379, 132167.

### 16.3 Wykaz doniesień zjazdowych

1. **Anita Mielech**, Anna Puścion-Jakubik, Joanna Bielecka, Monika Grabia, Katarzyna Socha, Diagnostyka i dietoterapia insulinooporności w różnych grupach wiekowych. VII Ogólnopolska konferencja studentów medycyny laboratoryjnej i młodych diagnostów, Wschodząca Diagnostyka, Białystok, 05.06.2021.
2. **Anita Żmudzińska**, Anna Puścion-Jakubik, Renata Markiewicz-Żukowska, Joanna Bielecka, Monika Grabia, Krystyna Gromkowska-Kępa, Patryk Nowakowski, Katarzyna Socha. Witaminy w chorobie Alzheimera. International Scientific Conference of the Polish Society of Nutritional Sciences (PTNŻ) of the "Dilemmas of Human Nutrition Sciences - Today and Tomorrow" series. Nutrition and Quality of Life of the Elderly. Warszawa, 23-24.06.2021.
3. **Anita Żmudzińska**, Anna Puścion-Jakubik, Joanna Bielecka, Monika Grabia, Konrad Mielcarek, Patryk Nowakowski, Katarzyna Socha. Zawartość związków polifenolowych w produktach spożywanych przez dzieci w wieku 0,5-3 lat. XXIV Naukowy Zjazd Polskiego Towarzystwa Farmaceutycznego "Salus aegroti suprema lex", Lublin, 22-24.09.2021.
4. Puścion-Jakubik A., Teper D., Markiewicz-Żukowska R., Soroczyńska J., Bielecka J., Grabia M., **Mielech A.**, Moskwa J., Naliwajko S.K., Mielcarek K., Nowakowski P., Socha K. Zastosowanie ICP-MS i ASA z techniką amalgamacji do oceny bezpieczeństwa spożycia miodów pszczelich pod względem zawartości pierwiastków toksycznych. „Konwersatorium Spektrometrii Atomowej” - XVI Konwersatorium Absorpcji Atomowej, XI Konwersatorium Optycznej Spektrometrii Emisyjnej, VIII Konwersatorium Spektrometrii Mas, III Konwersatorium Rentgenowskiej Spektrometrii Fluorescencyjnej, Białystok, 6-8.09.2021.
5. Bielecka J. Markiewicz-Żukowska R., Grabia M., Puścion-Jakubik A., Nowakowski P., Soroczyńska J., **Żmudzińska A.**, Socha K. Wykorzystanie metody ICP-MS w ocenie bezpieczeństwa produktów ryżowych. „Konwersatorium Spektrometrii Atomowej” - XVI Konwersatorium Absorpcji Atomowej, XI Konwersatorium Optycznej Spektrometrii Emisyjnej, VIII Konwersatorium Spektrometrii Mas, III Konwersatorium Rentgenowskiej Spektrometrii Fluorescencyjnej, Białystok, 6-8.09.2021.
6. Grabia M., Markiewicz-Żukowska R., Puścion-Jakubik A., Bielecka J., **Mielech A.**, Nowakowski P., Gromkowska-Kępa K., Mielcarek K., Socha K. Polypragmasy in the elderly and drug-food interactions. International Scientific Conference of the Polish Society of Nutritional Sciences (PTNŻ) of the "Dilemmas of Human Nutrition Sciences - Today and Tomorrow" series. Nutrition and Quality of Life of the Elderly, Warszawa, 23-24.06.2021.
7. Bielecka J., Markiewicz-Żukowska R., Nowakowski P., Puścion-Jakubik A., Grabia M., **Mielech A.**, Gromkowska-Kępa K., Soroczyńska J., Socha K. Possibilities of using rice products as a source of essential elements in the diet of seniors. International Scientific Conference of the Polish Society of Nutritional Sciences (PTNŻ) of the

- "Dilemmas of Human Nutrition Sciences - Today and Tomorrow" series. Nutrition and Quality of Life of the Elderly, Warszawa, 23-24.06.2021.
8. Puścion-jakubik A., Markiewicz-Żukowska R., Grabia M., Gromkowska-Kępa K., **Mielech A.**, Bielecka J., Naliwajko S., Mielcarek K., Nowakowski P., Borawska M.H., Socha K. Possibilities of using bee honey in the treatment of diseases of old age - a review of the literature. International Scientific Conference of the Polish Society of Nutritional Sciences (PTNŻ) of the "Dilemmas of Human Nutrition Sciences - Today and Tomorrow" series. Nutrition and Quality of Life of the Elderly, Warszawa, 23-24.06.2021.
  9. **Żmudzińska A.**, Puścion-Jakubik A., Socha K. Czy żywność ekologiczna przeznaczona do spożycia przez dzieci w wieku 0,5-3 lat jest w mniejszym stopniu zanieczyszczona pierwiastkami toksycznymi w porównaniu do żywności tradycyjnej? XXIX Ogólnopolskie Sympozjum Bromatologiczne, Żywność i żywienie a zdrowie człowieka – aspekty epidemiologiczne i kliniczne, Poznań 20-21.06.2023.

## 16.4 Wykaz innych aktywności naukowych

### Granty krajowe

1. Projekt naukowy z subwencji Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku-SUB/2/DN/21/002/2216, Kierownik: Anita Żmudzińska. Ocena zawartości azotanów (III) i azotanów (V) w owocach i warzywach spożywanych przez dzieci w wieku 0,5-3 lat.
2. Projekt naukowy z subwencji Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku-B.SUB.23.123, Kierownik: Anita Żmudzińska. Ocena zawartości miedzi w gotowych produktach spożywanych przez dzieci w wieku 0,5-3 lat.
3. Projekt naukowy z subwencji Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku-SUB/3/DN/21/001/2216, Kierownik: Joanna Bielecka, Współwykonawca: Anita Żmudzińska. Całkowita zawartość polifenoli oraz pierwiastków antyoksydacyjnych w naturalnie bezglutenowych produktach zbożowych pochodzących z upraw konwencjonalnych oraz ekologicznych.

### Stypendia Krajowe

- Stypendium Rektora Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku 2021/2022 za uzyskanie wyróżniających wyników w nauce oraz osiągnięcia naukowe, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku


### **Wykaz innych aktywności naukowych, popularyzacyjnych i organizacyjnych**

- Listopad 2020: prowadzenie warsztatów edukacyjnych „Cukrzyca okiem dietetyka” na zlecenie Fundacji dla Dzieci z Cukrzycą.
- Sierpień - wrzesień 2023: uczestnictwo w projekcie edukacyjnym „Zdrowe i szczęśliwe dzieci” na zlecenie Katryński Foundation.
- Członkostwo w Polskim Towarzystwie Nauk Żywnościowych.



# 17. Załączniki

## 17.1 Załącznik 1



### CZY ŻYWNÓŚĆ EKOLOGICZNA PRZEZNACZONA DO SPOŻYCIA PRZEZ DZIECI W WIEKU 0,5-3 LAT JEST W MNIJSZYM STOPNIU ZANIECZYSZCZONA PIERWIASTKAMI TOKSYCZNYMI W PORÓWNANIU DO ŻYWNÓŚCI TRADYCYJNEJ?

Anita Żmudzińska, Anna Puścion - Jakubik, Katarzyna Socha  
Zakład Bromatologii, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku  
ul. Mickiewicza 2d, 15-001 Białystok  
anita.mielech@sd.umb.edu.pl


#### WSTĘP

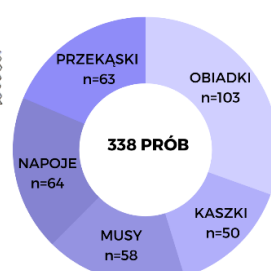
Spożycie żywności zanieczyszczonej pierwiastkami toksycznymi jest **szczególnie niebezpieczne we wczesnych latach życia**, ponieważ ekspozycja na nie może wpływać na rozwój dzieci, nawet przy niskim poziomie narażenia. Niemowlęta i małe dzieci podlegają gwałtownym zmianom w strukturze i funkcji poszczególnych narządów, dlatego jest to grupa **najbardziej podatna na negatywne działanie pierwiastków toksycznych** [1]. Żywność ekologiczna jest postrzegana jako zdrowsza i bezpieczniejsza dla zdrowia [2]. Produkty gotowe do spożycia dla dzieci to jedne z najczęściej kupowanych produktów ekologicznych, a zgodnie z badaniem EsKiMo II aż 63% dzieci spożywa żywność ekologiczną [3]. Produkty gotowe do spożycia dla dzieci, a szczególnie pochodzące z rolnictwa ekologicznego powinny charakteryzować się jak najlepszą wartością prozdrowotną i **zawierać możliwie jak najmniej pierwiastków toksycznych**.

#### CEL

Celem pracy była analiza zawartości pierwiastków toksycznych: As (arsenu), Cd (kadmu), Hg (rtęci) i Pb (ołowiu) w gotowych produktach przeznaczonych do spożycia przez dzieci w wieku 0,5-3 lat z uwzględnieniem podziału na produkty ekologiczne i tradycyjne.

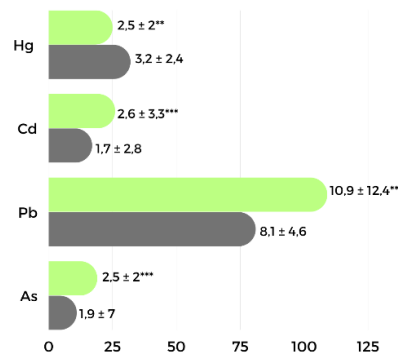
#### MATERIAŁY I METODY

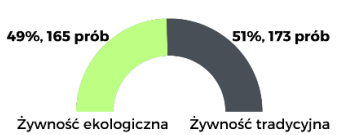




Zawartość **As, Cd i Pb** oznaczono metodą spektrometrii mas z plazmą indukcyjnie sprzężoną (ICP-MS).  
Zawartość **Hg** oznaczono metodą ASA z wykorzystaniem techniki amalgamacji (AMA-254).  
Wyniki poddano analizie statystycznej w programie Statistica 13.3 (StatSoft).

#### WYNIKI





**Tab. 1** Średnia zawartość Hg, Cd, Pb i As ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) w różnych rodzajach gotowych produktów dla dzieci z uwzględnieniem pochodzenia surowców (żywność ekologiczna i żywność tradycyjna).

( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Rodzaj żywności	Obiadki	Kaszki	Musy	Napoje	Przekąski
Hg	EKOLOGICZNA	2,0 $\pm$ 2,3	3,5 $\pm$ 2,3	3,2 $\pm$ 1,7	3,0 $\pm$ 1,7	2,1 $\pm$ 1,6*
	TRADYCYJNA	2,9 $\pm$ 2,9	4,5 $\pm$ 2,5	3,6 $\pm$ 2,3	2,8 $\pm$ 1,3	3,2 $\pm$ 1,8
Cd	EKOLOGICZNA	2,3 $\pm$ 3,2	3,1 $\pm$ 2,4	1,2 $\pm$ 1,1	3,1 $\pm$ 5,4	3,1 $\pm$ 2,8
	TRADYCYJNA	2,4 $\pm$ 3,6	2,6 $\pm$ 3,1	1,6 $\pm$ 2,4	0,9 $\pm$ 1,3	3,2 $\pm$ 2,9
Pb	EKOLOGICZNA	7,1 $\pm$ 4,8	8,7 $\pm$ 4,8	11,4 $\pm$ 29,3	14,9 $\pm$ 8,5*	13 $\pm$ 8,1
	TRADYCYJNA	7,9 $\pm$ 3,5	7,8 $\pm$ 5,1	5,9 $\pm$ 2,6	11,4 $\pm$ 6,3	12,6 $\pm$ 4,9
As	EKOLOGICZNA	1,4 $\pm$ 3,4	1,7 $\pm$ 1,6	0,2 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 2,6	3,5 $\pm$ 11,9
	TRADYCYJNA	2,4 $\pm$ 4,7	2,5 $\pm$ 2,6	0,2 $\pm$ 0,2	0,4 $\pm$ 1,2	1,1 $\pm$ 1,7

#### WNIOSKI

- Gotowa żywność do spożycia przez dzieci w wieku 0,5-3 lat z certyfikatem ekologicznym jest istotnie mniej zanieczyszczona Hg w porównaniu do żywności tradycyjnej. Jednak produkty ekologiczne zawierają istotnie więcej Cd, Pb i As w porównaniu do produktów tradycyjnych.
- Biorąc pod uwagę różne grupy produktów dla dzieci, w większości przypadków nie ma istotnych różnic w zawartości pierwiastków toksycznych pomiędzy żywnością ekologiczną, a pochodzącą z uprawy konwencjonalnej.
- Ekologiczna żywność dla dzieci w porównaniu do żywności tradycyjnej nie jest bardziej bezpieczna pod kątem zanieczyszczenia pierwiastkami toksycznymi, jednak niektóre produkty, takie jak przekąski i napoje dla dzieci oznaczone certyfikatem ekologicznym zawierają mniejszą ilość Hg.

#### LITERATURA

- Patriarca, M., Menditto A., Rossi B., Lyon T.D.B. Environmental exposure to metals of newborns, infants and young children. *Microchemical Journal* 2000, 351-361.
- Batra P, Sharma N, Gupta P. Organic foods for children: health or hype. *Indian Pediatr.* 2014, 349-353.
- Haftenberger M, Lehmann F, Lage Barbosa C, Brettschneider A.K., Mensink G.B.M. Consumption of organic food by children in Germany - Results of EsKiMo II. *J Health Monit.* 2020, 19-26.

Plakat zaprezentowano na XXIX Ogólnopolskim Sympozjum Bromatologicznym pt: „Żywność i Żywnienie a Zdrowie Człowieka – Aspekty Epidemiczne i Kliniczne” w Poznaniu 2023 r.