



Wpłynęło dnia
2.12.2024r.

SEKRETARIAT
Instytutu Medycyny Weterynaryjnej
/ mgr Małgorzata Malinowska /
starszy specjalista

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

lek. wet. Katarzyna Czech-Załubska

**Przetwory mięsne na polskim rynku:
analiza stosowania dodatków do żywności, w tym barwników
oraz ocena jakości odżywczej metodą Nutri-Score
– implikacje dla zdrowia publicznego.**

Meat products on the Polish market: an analysis of food additives,
including colorants, and an evaluation of nutritional quality
using the Nutri-Score method – implications for public health.

Rozprawa doktorska

Doctoral thesis

Rozprawa doktorska wykonana pod kierunkiem

prof. dr hab. Krzysztofa Anusza

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Promotor pomocniczy

dr hab. Agnieszka Jackowska – Tracz, prof. SGGW

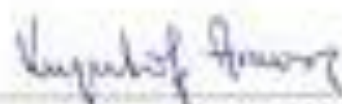
Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Oświadczanie promotora rozprawy doktorskiej

Oświadczam, że niniejsza rozprawa została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora.

1.12.2024

data



czytelny podpis promotora

Oświadczanie autora rozprawy doktorskiej

Świadoma odpowiedzialności prawnej, w tym odpowiedzialności kartej za złożenie fałszywego oświadczenia, oświadczam, że niniejsza rozprawa doktorska została napisana przez mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami prawa, w szczególności z ustawą z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (tj. z dnia 28 października 2022 r., Dz.U. z 2022 r. poz. 2509 ze zm.)

Oświadczam, że przedstawiona rozprawa nie była wcześniej podstawą żadnej procedury związanej z uzyskaniem stopnia naukowego doktora.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja rozprawy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Przyjmuję do wiadomości, że rozprawa doktorska poddana zostanie procedurze weryfikacyjnej.

11.11.2024

data



czytelny podpis autora rozprawy

***Składam serdeczne podziękowania
za pomoc okazaną podczas realizacji badań
oraz przygotowania rozprawy doktorskiej,
przekazaną wiedzę i ogrom życzliwości:***

prof. dr hab. Krzysztofowi Anuszowi

dr hab. Agnieszce Jackowskiej – Tracz, prof. SGGW

dr Annie Didkowskiej.

*Ponadto chciałabym bardzo podziękować mojemu mężowi Maciejowi Załubskiemu,
który był i jest dla mnie nieocenionym wsparciem oraz zawsze służy mądrą radą.*

Spis treści

Streszczenie	9
Wykaz publikacji stanowiących rozprawę doktorską	13
1. Wstęp.....	15
2. Cele pracy	19
3. Materiały i Metody	21
3.1. Pobór próbek (etykiet i zdjęć produktów) do badań	21
3.2. Klasyfikacja produktów	22
3.3. Analiza statystyczna dotycząca przewidywania występowania barwników w przetworach mięsnych (pierwszy etap badań)	22
3.4. Ocena korzyści oraz zagrożeń dla zdrowia człowieka (drugi etap badań).....	23
3.5. Ocena wielkość konsumpcji (drugi etap badań).....	24
3.6. Ocena narażenia na azotyny, fosforany oraz izoaskorbinian sodu i kwas izoaskorbinowy (drugi etap badań).....	25
3.7. Analiza statystyczna czynników mogących mieć wpływ na narażenie na azotyny, fosforany oraz izoaskorbinian sodu i kwas izoaskorbinowy (drugi etap badań)	26
3.8. Obliczenia wg algorytmu Nutri–Score (trzeci etap badań).....	27
3.9. Wpływ zawartości soli na obecność wzmacniaczy smaku (trzeci etap badań).....	28
4. Wyniki	29
4.1. Częstość występowania dodatków do żywności w przetworach mięsnych	29
4.2. Niezgodności w stosowaniu barwników identyfikowane na podstawie analizy etykiet...	30
4.3. Analiza przewidywania występowania barwników w wyrobach mięsnych na podstawie cech produktów	30
4.4. Ocena korzyści oraz zagrożeń dla zdrowia konsumentów.....	31
4.5. Konsumpcja.....	31
4.6. Narażenie na azotyny	32
4.7. Narażenie na fosforany.....	33
4.8. Narażenie na izoaskorbinian sodu i kwas izoaskorbinowy	33

4.9. Rozkład grup żywności w klasach Nutri-Score.....	33
4.10. Porównanie algorytmu oryginalnego i udoskonalonego	33
4.11. Porównanie produktów z mięsa białego i czerwonego	33
4.12. Scenariusze zmiany receptury	34
4.13. Zawartość soli, a obecność wzmacniaczy smaku w produktach.....	34
5. Dyskusja.....	35
6. Wnioski	47
7. Bibliografia	49
8. Załączniki:	65

Streszczenie

Przetwory mięsne na polskim rynku: analiza stosowania dodatków do żywności, w tym barwników oraz ocena jakości odżywczej metodą Nutri-Score – implikacje dla zdrowia publicznego.

Przetwory mięsne są ważnym źródłem białka w diecie człowieka, ale również czynnikiem predysponującym do wystąpienia chorób cywilizacyjnych, co czyni analizę stosowanych przy ich produkcji dodatków do żywności kluczową. Podobne znaczenie ma ukierunkowanie konsumentów na świadomy zakup zdrowszej żywności, poprzez stosowanie systemu etykietowania „z przodu opakowania” (FOP “front-of-pack”). Podczas analizy 12333 etykiet zidentyfikowano 12 barwników użytych do produkcji przetworów mięsnych, spośród których najczęściej stosowanym była karmina. Obecność wody i aromatów oraz wzrost zawartości tłuszczu i węglowodanów zwiększały prawdopodobieństwo wystąpienia barwnika. Ustalono potencjalnie niedozwolone użycie barwników w przypadku 20 asortymentów – najwięcej w grupie wędzonek. Zidentyfikowane barwniki uznawane są za bezpieczne, jednak wątpliwości budzi stosowanie karmelu E150C i E150D ze względu na ich potencjalne działanie rakotwórcze oraz karminy i annato ze względu na możliwość wywoływania reakcji alergicznych. Natomiast średnie spożycie azotynów z przetworzonego mięsa, w oparciu o dane ankietowe zebrane wśród 632 badanych, na poziomie 2 wyniosło 0,1 mg/kg m.c. (tj. 143% akceptowalnego dziennego spożycia – ADI – acceptable daily intake), na poziomie 2a, 3 i 3a odpowiednio – 0,08, 0,03 i 0,026 mg/kg m.c. (tj. 118%, 43% i 37% ADI). Średnie spożycie fosforanów oraz kwasu izoaskorbinowego i izoaskorbinianu sodu z przetworów mięsnych oszacowano odpowiednio jako 3,26 i 0,54 mg/kg m.c. (tj. 8,2% i 9% ADI). Żaden z respondentów nie przekroczył wartości ADI dla fosforanów oraz kwasu izoaskorbinowego i izoaskorbinianu sodu, natomiast duże obawy budzi wysokie spożycie azotynów i znaczne przekroczenia wartości ADI, szczególnie w grupie dzieci do lat 6. Analiza etykiet produktów wykazała, że większość przetworów mięsnych zostało zakwalifikowane do klasy D i E Nutri-Score. Natomiast zastosowanie udoskonalonego algorytmu obliczeniowego spowodowało niewielką zmianę w alokacji produktów. Największą zmianę w alokacji (o 35,2%) osiągnięto by poprzez zmianę receptury tj. zmniejszenie zawartości soli o 30% i tłuszczu o 10%.

Słowa kluczowe: annato, azotyny, barwniki, betanina, bezpieczeństwo żywności, dodatki do żywności, ekstrakt z papryki, fosforany, izoaskorbinian sodu, karmel, karmina, kwas izoaskorbinowy, Nutri-Score, ocena narażenia, produkty mięsne, przetwory mięsne, surowe wyroby mięsne, system etykietowania z przodu opakowania.

Abstract

Meat products on the Polish market: an analysis of food additives, including colorants, and an evaluation of nutritional quality using the Nutri-Score method – implications for public health.

Despite processed meat products being important protein sources in the human diet, they are simultaneously predisposing factors of many civilisation diseases, making the analysis of food additives used in their production just as crucial as encouraging conscious consumer food choices through the use of "front-of-pack" (FOP) labelling. In an analysis of 12,333 labels, 12 dyes used in the production of meat products were identified, of which carmine appeared as most frequently used. The occurrence of water, flavourings, as well as high fat and carbohydrate content increased the chances that a dye would be present in a particular product. Unauthorised use of food additives was found in 20 products, with smoked meat products demonstrating the highest number of non-compliances. Most of the identified food dyes are considered generally safe; however, reservations are associated with using E150C and E150D caramels due to their potential carcinogenic effect and carmine and annatto due to their allergic effects. Based on survey data collected from 632 participants, the mean nitrite intake from processed meat was as follows: 0.1 mg/kg body weight at tier 2 (143% ADI – acceptable daily intake); 0.08, 0.03, and 0.026 mg/kg body weight at tier 2a, 3 and 3a respectively (representing 118%, 43%, and 37% of the ADI). The mean intakes of phosphate and erythorbic acid/ sodium erythorbate from processed meat were found to be 3.26 and 0.54 mg/kg body weight (8.2% and 9% - ADI). None of the respondents exceeded the ADIs for phosphates or erythorbic acid/sodium erythorbate. In contrast, the found high nitrite intake and significant ADI exceedances were concerning, particularly in regard to children under six years of age. The label analysis showed that most meat products were qualified as class D and E. Comparing the refined Nutri-Score calculation algorithm with the original algorithm resulted in a slight change in product allocation. The most significant change in product allocation (35.2%) was achieved by reducing salt content by 30% and fat content by 10%.

Keywords: annatto, betanin, caramel, carmine, dyes, erythorbic acid, exposure assessment, food additives, food safety, front-of-pack labelling system, meat products, meat preparations, nitrite, Nutri-Score, paprika extract, phosphates, processed meat, sodium erythorbate.

Wykaz publikacji stanowiących rozprawę doktorską

1. Czech-Załubska, K., Klich, D., Jackowska-Tracz, A., Didkowska, A., Bogdan, J., & Anusz, K. (2023). Dyes used in processed meat products in the Polish market, and their possible risks and benefits for consumer health. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(13), 2610. <https://doi.org/10.3390/foods12132610>
(IF₂₀₂₂=5,2; MEiN₂₀₂₁=100 pkt.)
2. Czech-Załubska, K., Klich, D., Jackowska-Tracz, A., Didkowska, A., Zarzyńska, J., & Anusz, K. (2023). Assessment of dietary exposure to food additives used in Polish processed meat products. *Food additives & contaminants. Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment*, 40(11), 1389–1411. <https://doi.org/10.1080/19440049.2023.2258994>
(IF₂₀₂₂=2,9; MEiN₂₀₂₃=70 pkt.)
3. Czech-Załubska, K., Didkowska, A., Klich, D., Jackowska-Tracz, A., Zarzyńska, J., & Anusz, K. (2024). The Nutri-Score Scale - a tool for assessing the nutritional quality of processed meat products available on the Polish market. *Nutrients*, 16(6), 827. <https://doi.org/10.3390/nu16060827>
(IF₂₀₂₂=5,9; MEiN₂₀₂₄=140 pkt.)

Łączna punktacja publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskie:

Łączy współczynnik wpływu (IF) według Journal Citation Reports: **14,0**.

Suma punktów MEiN według Wykazu czasopism punktowanych przez Ministerstwo Edukacji i Nauki (MEiN): **310 pkt.**

1. Wstęp

Mięso i jego przetwory stanowią ważny element diety człowieka [1]. W Stanach Zjednoczonych i innych krajach rozwiniętych mięso zaspokaja 15–17% dziennego zapotrzebowania na energię i 30–40% dziennego zapotrzebowania na białko, a jednocześnie odpowiada za 20% dziennego spożycia tłuszczu. Należy jednak podkreślić, że różnice w w/w wartościach w poszczególnych częściach świata są bardzo duże [2-4].

Polska charakteryzuje się bardzo wysokim poziomem spożycia przetworów mięsnych [5]. Zajmuje trzecie miejsce na świecie, po Panamie i krajach Ameryki Łacińskiej [6]. Wpływ na to mają między innymi preferencje konsumenckie wynikające z różnic kulturowych, społecznych, ekonomicznych, a także przyzwyczajeń konsumentów [7-8].

Dodatki do żywności odgrywają ważną rolę w przetwórstwie mięsnym i są stosowane w przetworach mięsnych ze względów bezpieczeństwa, technologicznych, a także w celu zwiększenia trwałości produktów oraz poprawy ich koloru.

Wizualna ocena żywności jakiej dokonuje konsument, wpływa na jego decyzję dotyczącą zakupu asortymentu [9-11]. Jedną z cech wpływających na podejmowanie przez konsumentów decyzji jest kolor żywności, który może wpływać na akceptowalność produktu oraz być interpretowany jako wskaźnik smakowitości, świeżości, dojrzałości lub zdrowotności, a jego intensywność może również wpływać na postrzeganie smaku [10,12-13]. To właśnie sprawia, że producenci żywności sięgają po barwniki, aby podkreślić wygląd swoich produktów, a tym samym sprawić, żeby stały się bardziej atrakcyjne dla konsumenta.

Można domniemać, że duża częstota stosowania azotynów związana jest z ich działaniem przeciwbakteryjnym i spowalniającym psucie się żywności. Hamują one wzrost bakterii takich jak *Clostridium botulinum* oraz tworzenie przez nie toksyn [14-17], jak również ograniczają wzrost innych drobnoustrojów przenoszonych przez żywność, w tym *Salmonella* spp. i *Listeria monocytogenes*, co jest bardzo ważne w kontekście oceny zdrowia publicznego [18-21]. Ponadto azotyny hamują peroksydację lipidów, proces jełczenia tłuszczów, a co za tym idzie zwiększają trwałość wędlin [22]. Dodanie azotynów do mięsa rozpoczyna liczne reakcje chemiczne, których wynikiem jest między innymi utwardzenie koloru oraz przyjęcie cech charakterystycznych dla wyrobów peklowanych. Uważa się, że poprawiają one jakość sensoryczną produktów, zmianie ulega również smak i aromat mięsa [16,18,22]. Poza wyżej wymienionymi substancjami do produkcji surowych wyrobów mięsnych i produktów mięsnych stosowanych jest wiele innych dodatków do żywności, w tym fosforany, mające funkcję stabilizatorów oraz emulgatorów tłuszczów, a także przeciwutleniacze np. izoaskorbiniany.

Stosowanie dodatków do żywności, w tym barwników, przez producentów na terenie Unii Europejskiej reguluje rozporządzenie (WE) 1333/2008. Kolor żywności oraz specyficzny charakter produktów nadawany przez dodatki jest jednym z najważniejszych atrybutów wpływających na preferencje żywieniowe i zachowania zakupowe konsumentów. Należy jednak pamiętać, że produkowana żywność przede wszystkim musi być bezpieczna a każde nieautoryzowane użycie dodatków do żywności może rodzić poważne konsekwencje dla życia i zdrowia ludzi.

Spożycie mięsa czerwonego, głównie przetworów z mięsa czerwonego, jest czynnikiem predysponującym do wystąpienia wielu chorób cywilizacyjnych. W licznych doniesieniach wykazano, że zwiększone spożycie mięsa czerwonego i przetworów mięsnych wiąże się ze zwiększonym ryzykiem wystąpienia cukrzycy typu 2 [23-28], chorób układu krążenia [29] i choroby niedokrwiennej serca [24-25]. Spożywanie czerwonego i/lub przetworzonego mięsa zwiększa również ryzyko udaru mózgu [30-32], w szczególności udaru niedokrwinnego [33]. Predysponuje do wystąpienia różnych nowotworów, w tym raka płaskonabłonkowego przełyku [34-35], raka żołądka [36], raka jelita grubego, okrężnicy i odbytnicy [37-39], raka trzustki [40] oraz raka piersi [41-44]. Badania wykazały również związek między spożyciem czerwonego przetworzonego mięsa, a śmiertelnością [29,45]. Duże spożycie czerwonego przetworzonego mięsa odpowiada za wzrost ryzyka śmiertelności w tym sercowo-naczyniowej i nowotworowej [46-47]. Niektóre badania wykazały również, że ograniczenie spożycia przetworzonego mięsa poniżej 20 g/dzień zapobiegłoby ponad 3% wszystkich zgonów [48]. Zatem ograniczenie spożycia czerwonego przetworzonego mięsa jest istotnym zaleceniem dietetycznym w profilaktyce chorób układu krążenia, cukrzycy typu 2 i różnych typów nowotworów.

Negatywnemu wpływowi przetworzonych produktów mięsnych na zdrowie człowieka można częściowo przeciwdziałać poprzez zmianę składu tych produktów, tj. poprzez zmniejszenie w nich zawartości sodu [49] lub tłuszczu. Co więcej, niektóre badania sugerują, że spożywanie białego mięsa, które jest znakomitym źródłem białka, może wiązać się ze zmniejszeniem ryzyka raka żołądka [36] i udaru mózgu [31].

Na terenie Unii Europejskiej, zgodnie z rozporządzeniem (UE) nr 1169/2011, na etykiecie produktu spożywczego musi znaleźć się informacja dotycząca wartości energetycznej produktu oraz zawartości tłuszczu i tłuszczów nasyconych, węglowodanów i cukrów, białka i soli. Dane te muszą być przedstawione w formie tabelarycznej i być czytelne dla konsumentów. Ponadto podmioty prowadzące przedsiębiorstwa spożywcze (FBO – Food Business Operator) mogą umieszczać na tych etykietach dodatkowe informacje, tj. o ilości tłuszczów jednonienasyconych i wielonienasyconych, poliooli, skrobi, błonnika, witamin i minerałów.

Dodatkowo, zgodnie z art. 35 rozporządzenia (UE) nr 1169/2011, wartość energetyczna oraz ilość składników odżywczych może zostać powtórzona w formie grafiki lub symbolu na przedniej stronie opakowania.

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO – World Health Organization) zaleca także zastosowanie znakowania FOP w celu przeciwdziałania rosnącej epidemii otyłości i ryzyka chorób niezakaźnych powstających na podłożu dietetycznym. Stwierdzono, że łatwe do zrozumienia systemy etykietowania żywności mogą wspierać edukację żywieniową konsumentów oraz pomagać im w wyborze zdrowszych produktów, jednocześnie wpływając na podmioty prowadzące przedsiębiorstwa spożywcze, żeby przeformułowały swoje produkty [50-53].

Ze względu na brak globalnego, wspólnie opracowanego systemu oznakowania, zarówno w Unii Europejskiej, jak i poza nią, poszczególne kraje przyjęły różne formy FOP, które są albo obowiązkowe, albo dobrowolne, w zależności od lokalnego ustawodawstwa. Oznaczenia stosowane na przodzie opakowania można podzielić na schematy „specyficzne dla składników odżywczych”, które dostarczają informacji na ich temat w formie „liczbowej” i „oznaczonej kolorami”, lub schematy „wskaźników podsumowujących”. Przykładem tego pierwszego jest przyjęta we Włoszech „Bateria NutrInform”, która ilustruje poprzez zastosowanie symbolu baterii ilość energii i składników odżywczych zawartych w pojedynczej porcji pożywienia jako procent sugerowanej dziennej wielkości spożycia. W Wielkiej Brytanii wprowadzono inny, schemat FOP, w którym kolorami (czerwonym, bursztynowym i zielonym) przedstawiono wartość odżywczą i energetyczną zawartą w pojedynczej porcji produktu oraz procent referencyjnego spożycia przez osobę dorosłą.

Schematy „wskaźników podsumowujących” można podzielić na te, które obejmują wyłącznie wskaźniki „pozytywne”, co oznacza możliwość etykietowania tylko w przypadku żywności spełniającej określone kryteria, a także wskaźniki „stopniowane”, gdzie etykietowanie może być stosowane w przypadku wszystkich produktów, które otrzymują stosowne oznaczenie w zależności od przyjętej skali [54]. Przykładem tych drugich jest „System klasyfikacji gwiazdek zdrowia” (HSR – Health Star Rating) [53] wprowadzony w 2014 r. w Australii i Nowej Zelandii oraz Nutri-Score wprowadzony w 2017 r. we Francji. W przypadku Nutri-Score informacje zawarte na etykiecie wyrażone są w postaci pięciostopniowej skali kolorystycznej od ciemnozielonego do ciemnopomarańczowego, gdzie dodatkowo każdemu z kolorów przyporządkowano litery od A do E. Algorytm zastosowany w skali Nutri-Score opiera się zarówno o czynniki negatywne (N-składniki), takie jak: cukry, tłuszcze nasycone, sól i wartość dostarczanej energii oraz pozytywne (P-składniki), takie jak

białko, błonnik, owoce, warzywa, rośliny strączkowe i orzechy [55]. W/w program klasyfikacji żywności wdrożyły również inne kraje europejskie takie jak: Hiszpania, Belgia, Holandia, Luksemburg, Niemcy i Szwajcaria [54,56]. Natomiast stosowanie na etykietach oznaczenia zgodnie ze skalą Nutri-Score zostało zakazane m.in. przez rządy Włoch i Rumunii, uznając ją za nieuczciwą praktykę handlową [57,58].

2. Cele pracy

1. Identyfikacja najczęściej stosowanych w przetworach mięsnych w Polsce barwników oraz ustalenie zależności ich występowania od cech produktu. Ocena prawidłowości ich stosowania na podstawie analizy etykiet produktów i ich wpływu na zdrowie człowieka – pierwszy etap badań.
2. Analiza narażenia dietetycznego na azotyny, fosforany oraz kwas izoaskorbinowy i izoaskorbinian sodu z przetworzonego mięsa dla respondentów z Polski, w oparciu o maksymalny zawarty w rozporządzeniu poziom stosowania dodatków (poziom 2). W przypadku azotynów dodatkowo w oparciu o ich historyczne stężenie w przetworach mięsnych (poziom 3), z uwzględnieniem częstości ich występowania w tych produktach oraz wielkości konsumpcji przetworów mięsnych – drugi etap badań.
3. Określenie rozmieszczenia przetworów mięsnych w klasach Nutri-Score, a także, wyróżnienie produktów potencjalnie bardziej odpowiednich dla konsumenta, które oferują korzystniejszą jakość odżywczą. Ustalenie, czy udoskonalony algorytm w istotny sposób przyczynił się do zmiany klasyfikacji produktów i jak na rozkład produktów w klasach wpłynęłoby zmniejszenie zawartości sodu i tłuszczów nasyconych – trzeci etap badań.

3. Materiały i Metody

Cel badań zrealizowano poprzez wykonanie szczegółowej analizy w trzech etapach. Pierwszy etap badań doprowadził do zidentyfikowania barwników najczęściej występujących w przetworach mięsnych, ustalenia zależności ich występowania od cech produktu oraz prawidłowości ich stosowania i wpływu na zdrowie człowieka – szczegółowe dane zawarto w publikacji pod tytułem „Barwniki stosowane w przetworach mięsnych na polskim rynku, oraz związane z nimi możliwe ryzyko i korzyści dla zdrowia konsumentów”.

Podczas drugiego etapu badań dokonano oceny narażenia dietetycznego na azotyny, fosforany oraz kwas izoaskorbinowy i izoaskorbinian sodu z przetworzonego mięsa – szczegółowe dane zawarto w publikacji pt. „Ocena narażenia z diety na dodatki do żywności stosowane w polskich przetworach mięsnych”.

Trzeci etap badań pozwolił na określenie rozmieszczenia przetworów mięsnych w klasach Nutri-Score i wyróżnienie produktów bardziej odpowiednich dla konsumenta oraz sprawdzenie czy udoskonalony algorytm wpłynął na zmianę klasyfikacji przetworów mięsnych – szczegółowe dane zawarto w publikacji pod tytułem „Nutri-Score – narzędzie oceny jakości odżywczej przetworów mięsnych dostępnych na polskim rynku”.

3.1. Pobór próbek (etykiet i zdjęć produktów) do badań

Informacje dotyczące wartości odżywczej, składników wyrobu, występowania substancji dodatkowych, a także dotyczące rodzaju mięsa użytego do produkcji (gatunki zwierząt) pozyskane zostały z etykiet asortymentów zakwalifikowanych jako przetwory mięsne, w tym surowe wyroby mięsne (kategoria 8.2) oraz produkty mięsne (kategoria 8.3) zgodnie z definicjami zawartymi w rozporządzeniu (WE) nr 853/2004. Dane pobrano z 75 sklepów spożywczych, reprezentujących pięć sieci handlowych o największym udziale w rynku w oparciu o sumę przychodów za 2018 rok [59], tj. Biedronka (JERONIMO MARTINS POLAND), Lidl (FRF Beteiligungs GmbH), Eurocash, grupa zrzeszająca sklepy takie jak Lewiatan, Groszek i Delikatesy Centrum oraz Auchan i Kaufland (w zastępstwie sieci Tesco, która ogłosiła, że wycofuje się z rynku polskiego). Pobór danych przeprowadzono w sklepach reprezentujących każdą z wyżej wymienionych sieci handlowych, w 11 miastach powyżej 250 tys. mieszkańców oraz w sześciu mniejszych miastach, pod warunkiem posiadania przez sieć oddziału w wybranym mieście. Materiał do analizy stanowiły zdjęcia etykiet produktów oraz zdjęcia samych produktów zbierane w okresie od października 2020 r. do marca 2021 r.

Ogółem pobrano 12333 etykiet i zdjęć produktów dostępnych w dniach badania na półkach sklepowych 75 sklepów w 17 miastach Polski. W wyniku analizy zidentyfikowano 1967

unikalnych przetworów mięsnych należących do kategorii 8.2 lub 8.3. Jednakże podczas drugiego etapu badań ze względu na brak możliwości przypisania 16 produktów do konkretnych grup asortymentowych, zostały one wyłączone z dalszych analiz. Natomiast w przypadku trzeciego etapu badań do dalszych analiz wykorzystano jedynie te rekordy, dla których dostępne były pełne dane tj. 1 700 produktów co stanowiło 86,43% całej próby.

3.2. Klasyfikacja produktów

Przetworzone produkty mięsne podzielono na dwie kategorie, tj. surowe wyroby mięsne (kategoria 8.2) i produkty mięsne (kategoria 8.3) zgodnie z definicjami zawartymi w rozporządzeniu (WE) nr 853/2004. Na wszystkich etapach badania ze względu na dużą różnorodność produktów mięsnych wydzielono z nich grupy: wędzonek, kiełbas, wędlin podrobowych oraz innych produktów mięsnych, zgodnie z kryteriami Polskiej Normy [60]. Następnie w drugim i trzecim etapie badania dokonano dalszych podziałów na podgrupy, przyjmując określone kryteria.

W drugim etapie badania na podstawie opisów asortymentów na etykietach i wizerunku produktów powyższe grupy technologiczne zostały dodatkowo podzielone na grupy asortymentowe składające się z produktów o zbliżonym wizerunku i charakterystyce. Szczegółowy podział przedstawiono na wykresie 1 zawartym w publikacji drugiej.

Podczas trzeciego etapu badania produkty w ramach powyżej wymienionych grup, podzielono dalej na podgrupy, ze względu na skład gatunkowy mięsa. Podziału dokonano na: produkty z mięsa czerwonego, tj. z domowych zwierząt kopytnych, o których mowa w rozdziale I załącznika III do rozporządzenia (WE) nr 853/2004 oraz z mięsa białego tj. drobiu i zajęczaków, o którym mowa w sekcji II załącznika III do rozporządzenia (WE) nr 853/2004. Szczegółowy podział grup przedstawiono na wykresie 1 zawartym w publikacji trzeciej.

3.3. Analiza statystyczna dotycząca przewidywania występowania barwników w przetworach mięsnych (pierwszy etap badań)

Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem uogólnionego modelu liniowego z binarną zmienną zależną by ocenić prawdopodobieństwo występowania barwników w przetworach mięsnych.

Przeprowadzono dwie takie analizy, pierwszą obejmującą wszystkie zakwalifikowane do badań przetwory mięsne, a drugą dla kiełbas, gdyż w tej grupie barwniki występowały najczęściej. W modelu obejmującym wszystkie produkty zmienną zależną była obecność barwnika w produkcie, oznaczona jako 1, lub jego brak, oznaczony jako 0.

Zmiennymi objaśniającymi były cechy produktu, które uzyskano z informacji zawartych na etykietach, w tym: (1) grupa technologiczna żywności (pięć głównych grup: surowe wyroby mięsne, wędzonki, kielbasy, produkty podrobowe i inne produkty mięsne); (2) woda jako składnik (dwie kategorie: brak i obecność wody); (3) aromaty (dwie kategorie: brak i obecność aromatów); oraz (4) współzmiennie: białko (g/100 g produktu), węglowodany (g/100 g produktu) i tłuszcz (g/100 g produktu).

Współzmiennie zostały wcześniej ocenione pod kątem współliniowości za pomocą korelacji parami Pearsona. Nie uwzględniono zawartości mięsa w produkcie (g/100 g produktu) ze względu na jego wysoką korelację z zawartością białka w produkcie oraz rodzaju mięsa (z podziałem na drób, wieprzowinę i wołowinę) ze względu na quasi kompletną separację danych.

W drugim modelu wykorzystano grupę kielbas, tę samą zmienną zależną i zmienne niezależne; jednak zmienna produktu została pominięta. Oba modele porównano z modelem zerowym (zawierającym jedynie wyraz wolny), aby ocenić ich siłę objaśniania.

Obliczenia zostały oparte na danych dotyczących wartości odżywczych dla poszczególnych asortymentów, co oznaczało, że produkty, dla których brak było pełnych danych zostały wykluczone z analizy dotyczącej przewidywania występowania barwników w wyrobach mięsnych na podstawie cech asortymentów, zatem w tym obszarze badaniu poddano 944 produkty.

3.4. Ocena korzyści oraz zagrożeń dla zdrowia człowieka (pierwszy etap badań)

Oceny korzyści oraz zagrożeń dla zdrowia konsumentów dokonano w oparciu o analizę literatury, poprzez dokonanie przeglądu publikacji znajdujących się w National Library of Medicine, National Center for Biotechnology Information – bazy pubmed.gov. Wstępna weryfikacja publikacji została przeprowadzona na podstawie ich abstraktów. Do dalszej analizy zakwalifikowano łącznie 134 artykuły, z czego po zapoznaniu się z całą publikacją wykluczono 43 ze względu na brak poszukiwanych informacji. Treść 91 wybranych publikacji oceniono zgodnie ze stworzonym systemem rankingowym:

- Wynik=0 (brak ryzyka lub korzyści): publikacja wskazuje, że barwnik nie wykazuje działania genotoksycznego ani rakotwórczego, ostrej lub przewlekłej toksyczności oraz nie wywołuje alergii, ale także nie ma żadnych korzyści dla zdrowia ludzi.
- Wynik=1 (wystąpienie ryzyka lub korzyści): artykuł wskazuje na genotoksyczność, rakotwórczość, ostrą lub przewlekłą toksyczność oraz wywoływanie alergii lub korzyści dla zdrowia ludzkiego w odniesieniu do określonego barwnika.

W wyniku oceny każdemu z omawianych barwników przypisano określoną liczbę punktów za każde z pięciu zagrożeń lub korzyści. Następnie obliczono stosunek liczby publikacji wskazujących na występowanie danego ryzyka/korzyści dla danego barwnika do wszystkich publikacji traktujących o danym ryzyku/korzyści dla danego barwnika.

3.5. Ocena wielkości konsumpcji (drugi etap badań)

Informacje na temat konsumpcji produktów należących do poszczególnych 55 kategorii zebrano w oparciu o dane pozyskane z 24-godzinnego wywiadu żywieniowego. Respondenci raportowali ilość i rodzaj spożytych przez nich produktów z przetworzonego mięsa w ciągu poprzedniego dnia, udzielając odpowiedzi na 78 pytań zawartych w kwestionariuszu dietetycznym, który został trzykrotnie powtórzony w celu uzyskania informacji o zmienności wewnątrzosobniczej [61-62]. Ankieta, została przeprowadzona przy użyciu narzędzia Microsoft Forms, dzięki czemu była dostępna on-line. Zgodnie z zamieszczoną instrukcją we wprowadzaniu danych w grupie dzieci i osób starszych pośredniczyli rodzice lub inni domownicy. W celu zapewnienia anonimowości odpowiedzi, w pierwszym pytaniu respondent był proszony o podanie stworzonego przez siebie loginu, który pozwolił na powiązanie ze sobą kolejnych odpowiedzi. Następne sześć pytań dotyczyło cech społeczno – demograficznych osoby ankietowanej tj. masa ciała, płeć, wiek, poziom wykształcenia, miejsce zamieszkania. Każdy respondent proszony był o udzielenie odpowiedzi na 20 pytań dotyczących wytypowanych grup asortymentowych. W przypadku odpowiedzi twierdzącej, wskazującej na spożycie produktu z danej grupy respondent otrzymywał jedno do trzech pytań uszczegółowiających wielkość spożycia w gramach oraz w wybranych przypadkach kategorię asortymentu. Kwestionariusz zawierał również pytanie otwarte pozwalające na wpisanie wielkości spożycia asortymentu niezakwalifikowanego do żadnej z powyższych 20 grup. Szacowanie wielkości porcji przeprowadzono przy użyciu zdjęć przedstawiających przykłady produktów należących do każdej z badanych kategorii wraz z określoną wagą uwzględniającą kilka wariantów podania - wielkości porcji.

Dorosłymi respondentami zaproszonymi do udziału w ankiecie byli studenci, znajomi i rodziny studentów oraz pracowników naukowych, pracownicy inspektoratów weterynarii oraz spółdzielni rolnych, a także osoby aktywnie uprawiające sport – uczestnicy dwóch festiwali biegowych. Młodzież rekrutowano za pośrednictwem organizacji pozarządowych zrzeszających dzieci w wieku 7-18 lat. Osoby z najstarszej grupy wiekowej rekrutowano spośród domowników osób dorosłych biorących udział w ankiecie oraz podczas spotkań w lokalnym klubie seniora. Odpowiedzi dotyczące młodszych dzieci były przekazywane przez

ich rodziców – uczestników ankiety oraz rodziców dzieci zrzeszonych w dwóch klubach sportowych. Do analiz włączono tylko respondentów, którzy przeprowadzili trzy pełne 24-godzinne wywiady żywieniowe tj. 632 osoby z 847, które wzięły udział w ankiecie.

3.6. Ocena narażenia na azotyny, fosforany oraz izoaskorbinian sodu i kwas izoaskorbinowy (drugi etap badań)

Ocenę narażenia na azotyny, fosforany oraz izoaskorbinian sodu i kwas izoaskorbinowy pochodzące z surowych wyrobów mięsnych i produktów mięsnych w Polsce przeprowadzono w oparciu o model wieloetapowego podejścia (tiered approach), poczynwszy od poziomu 2. Następnie dokonano porównania obliczonego podczas badania narażenia z akceptowalnym dziennym spożyciem (ADI).

Dietetyczne narażenie na dodatki na poziomie 2 obliczono, mnożąc maksymalne stężenie dodatków jakie można zastosować do każdej z grup asortymentowych i spożycie żywności z danej grupy. Następnie wartości z poszczególnych grup zsumowano, a dalej podzielono przez indywidualną masę ciała każdej osoby, aby uzyskać indywidualne całkowite narażenie na dzień. Szacunki dotyczące dziennego narażenia zostały uśrednione za okres trzech dni (tj. trwania badania), co pozwoliło na określenie indywidualnego średniego narażenia. Obliczenia zostały oparte na indywidualnej masie ciała respondenta, co oznaczało, że dla osób, które nie zgłosiły swojej masy ciała dokonano jej szacowania, na podstawie średniej masy ciała osób tej samej płci i należących do tej samej grupy wiekowej.

W kolejnych analizach uwzględniono fakt, że nie wszyscy producenci dodają każdy dopuszczony do stosowania w kategorii 8 dodatek do produkowanej żywności. Z tego powodu obliczenia wykonane na poziomie 2 skorygowano o częstość występowania dodatku w określonych grupach asortymentowych - poziom 2a. Jednakże w przypadku fosforanów oraz izoaskorbinianu sodu i/lub kwasu izoaskorbinowego analiza poziomu 2 wykazała, że narażenie na te dodatki jest znacznie poniżej ADI; w związku z tym w odniesieniu do tych dodatków do żywności odstępiono od analizy poziomu 2a.

Wykrycie licznych przekroczeń ADI dla azotynów na poziomie 2 oraz 2a spowodowało, że dla właściwego oszacowania narażenia konieczne było dokonanie obliczeń na poziomie 3, uwzględniającym stężenia azotynów w produkcie. Obliczeń dokonano mnożąc zawartości azotynów w przetworach mięsnych (wyrażoną w miligramach na kilogram produktu) uzyskaną z danych literaturowych [63-69] i spożycie żywności z danej grupy. Następnie wartości z poszczególnych grup zsumowano i podzielono przez indywidualną masę ciała każdej osoby, a dalej wielkość narażenia uśredniono za okres 3 dni tj. czas trwania badania.

W dalszej części analiz wartości te skorygowano o częstość występowania dodatku w określonych grupach asortymentowych – poziom 3a. W analizie uwzględniono również fakt konwersji azotanów do azotynów, który odbywa się głównie w jamie ustnej [70]. Aby obliczyć współczynnik konwersji azotanów do azotynów, należało oszacować narażenie na azotany z produktów mięsnych. Dokonano tego poprzez pomnożenie maksymalnych dopuszczalnych poziomów azotanów dla poszczególnych grup asortymentowych przez indywidualne dane dotyczące spożycia. Następnie zsumowano wartości ze wszystkich grup i dalej podzielono według masy ciała. Te szacunki narażenia następnie uśredniono za okres trzech dni. W obliczeniach zastosowano współczynnik przeliczeniowy azotanów na azotyny wynoszący 5% i 20% - odpowiednio poziom 3b oraz poziom 3b'.

3.7. Analiza statystyczna czynników mogących mieć wpływ na narażenie na azotyny, fosforany oraz izoaskorbinian sodu i kwas izoaskorbinowy (drugi etap badań)

Statystycznie oceniano także czynniki mogące mieć wpływ na narażenie na a) azotyny, b) fosforany i c) izoaskorbinian sodu i kwas izoaskorbinowy. Ekspozycja na wszystkie trzy grupy dodatków została obliczona dla poziomu 2 i przeanalizowana oddzielnie. Dodatkowo zbadano narażenie dla azotynów na poziomie 2a, 3 i 3a.

Zaplanowano budowę ośmiu uogólnionych modeli liniowych, w każdym z nich zmienną zależną było narażenie na dany dodatek do żywności liczone jako poziom 2, poziom 2a oraz dodatkowo dla azotynów poziom 3 i poziom 3a, wyrażone w mg/kg masy ciała na dzień. Finalnie zbudowano łącznie cztery uogólnione modele liniowe tylko dla azotynów na poziomach 2, 2a i 3, 3a. Ponieważ narażenie na fosforany, izoaskorbinian sodu i kwas izoaskorbinowy było znacznie niższe od ADI, porzucono budowanie dla nich modeli.

W każdym modelu uwzględniono cztery zmienne objaśniające: płeć, wiek (grupa wiekowa), miejsce zamieszkania i wykształcenie. Dodatkowo w modelach uwzględniono interakcję płci i wieku z innymi zmiennymi: płeć × wiek, płeć × wykształcenie, płeć × miejsce zamieszkania, wiek × wykształcenie oraz wiek × miejsce zamieszkania. Skład ostatecznego modelu został określony poprzez dobór modelu w oparciu o wartość kryterium informacyjnego AIC (Akaike Information Criterion), przy czym uwzględniono wszystkie warianty modelu (w tym model zerowy). Wybrano model o najniższej wartości AIC.

Dla azotynów opracowano dwa modele binarne, w których zmienną zależną było porównanie spożytego dodatku z wartością referencyjną, czyli każdy przypadek, w którym spożyty dodatek przekroczył ADI, oznaczono jako 1 oraz każdy przypadek, w którym spożyty dodatek nie przekroczył normy oznaczono jako 0. Uwzględniono wszystkie wymienione

powyżej zmienne objaśniające (oraz warianty interakcji). Ze względu na liczbę przypadków pozytywnych modele opracowano wyłącznie dla poziomów 2 i 2a. W ten sam sposób dokonano wyboru modelu.

3.8. Obliczenia wg algorytmu Nutri-Score (trzeci etap badań)

Dla każdego produktu dokonano wyliczeń na podstawie zawartości poszczególnych składników odżywczych w 100 g żywności, w oparciu o zaproponowany algorytm [71]. Główny algorytm Nutri-Score został zmodyfikowany przez Komitet Naukowy Nutri-Score (ScC) w 2022 roku m.in. w zakresie sposobu oceny zawartości białka w przetworach mięsnych. Z tego powodu poniżej przedstawiono dwie kalkulacje tj. dla algorytmu przed zmianą (zwanego dalej algorytmem oryginalnym) i po jego zmianie (zwanego dalej algorytmem udoskonalonym).

Przetwory mięsne oceniane były pod względem składników negatywnych (N-składników) tj. energii (0–10 punktów), cukrów (0–10 punktów), nasyconych kwasów tłuszczowych (0–10 punktów) i sodu obliczonego na podstawie zawartości soli (0–10 punktów) oraz składników pozytywnych (P-składników) tj. zawartości owoców, warzyw, roślin strączkowych, orzechów i oliwy z oliwek (%) (0–5 punktów), błonnika (0–5 punktów) i białka (0–5 punktów w oryginalnym algorytmie oraz 0–5 punktów dla mięsa białego lub 0–2 punkty dla mięsa czerwonego i jego przetworów według udoskonalonego algorytmu). W związku z faktem, że na etykiecie produktów mięsnych nie ma obowiązku zamieszczania zawartości sodu, wartość ta została obliczona na podstawie zawartej na etykiecie ilości soli rozumianej jako wartość równoważnika soli [71-72]. Zawartość sodu (mg) można obliczyć, dzieląc ilość soli podaną na etykiecie (w g) przez 2,5 i mnożąc ją przez 1000.

Następnie zgodnie z zasadami algorytmu, jeżeli suma punktów przyznanych dla N-składników była mniejsza od 11, od uzyskanej wielkości odejmowano sumę punktów uzyskanych dla P-składników. Tę samą metodę obliczeń stosowano w przypadku, gdy suma punktów dla N-składników była większa lub równa 11, ale liczba punktów przyznanych za owoce, warzywa, rośliny strączkowe, orzechy oraz oliwę z oliwek (%) wyniosła 5. Natomiast w przypadku gdy suma punktów dla N-składników była równa lub większa od 11, a liczba punktów przyznanych za zawartości owoców, warzyw, roślin strączkowych, orzechów i oliwy z oliwek (%) była mniejsza od 5 punktów, to od sumy punktów uzyskanych dla N-składników odejmowane były jedynie punkty przydzielone za zawartości owoców, warzyw, roślin strączkowych, orzechów i oliwy z oliwek (%) oraz za błonnik.

Uzyskany wynik punktowy decydował o przypisaniu produktu do odpowiedniej klasy, od A do E. Klasa A (ciemnozielona) obejmowała produkty, które uzyskały -1 punkt lub mniej; klasa B (jasnozielona) obejmowała produkty, które uzyskały od 0 do 2 punktów; klasa C (żółta) obejmowała produkty, które uzyskały od 3 do 10 punktów; klasa D (pomarańczowa) obejmowała produkty, które uzyskały od 11 do 18 punktów; a klasa E (ciemnopomarańczowa) obejmowała produkty, które uzyskały 19 punktów i więcej. Wyniki obliczeń wykonanych przy użyciu algorytmu oryginalnego porównano następnie z wynikami algorytmu udoskonalonego.

Przeprowadzono również scenariusze zmiany receptury, które obejmowały redukcję odpowiednio o 30% soli (sodu), oraz o 10 % tłuszczów nasyconych zarówno pojedynczo, jak i w połączeniu. Scenariusze przeformułowania oparte zostały w przypadku soli o zalecaną przez WHO redukcję spożycia soli (sodu) o 30% [73] i 10% redukcji tłuszczów nasyconych.

3.9. Wpływ zawartości soli na obecność wzmacniaczy smaku (trzeci etap badań)

Rozkład badanych zmiennych zweryfikowano za pomocą testu Shapiro–Wilka, który wykazał, że żadna z nich nie ma rozkładu zbliżonego do normalnego. Dlatego też dalszą analizę danych przeprowadzono za pomocą testu Kruskala–Wallisa i regresji logistycznej w oprogramowaniu SPSS v29.0 (Armonk, NY, USA).

Test Kruskala-Wallisa został użyty do oceny różnic cech odżywczych pomiędzy różnymi przetworzonymi produktami mięsnymi, takich jak: ocena całkowita, wartość energetyczna (KJ), ocena energetyczna, zawartość cukru, ocena cukrów, zawartość kwasów tłuszczowych nasyconych (SFA - saturated fatty acids), ocena kwasów tłuszczowych, zawartość sodu, ocena sodu, zawartość białka, ocena białka, zawartość błonnika i ocena błonnika. Łącznie do analizy włączono dziewięć grup produktów: surowe wyroby mięsne, wędzonki drobiowe, wędzonki z mięsa czerwonego, kiełbasy drobiowe, kiełbasy z mięsa czerwonego, produkty podrobowe drobiowe, produkty podrobowe z mięsa czerwonego, inne produkty drobiowe oraz inne produkty z mięsa czerwonego.

Wpływ zawartości soli na obecność wzmacniaczy smaku w produktach mięsnych określono metodą regresji logistycznej. W modelu zmienną zależną była obecność wzmacniacza smaku w produkcie (oznaczona jako 1) lub brak wzmacniacza smaku w produkcie (oznaczona jako 0). Jako współzmienną zastosowano zawartość soli w produkcie. Model został zweryfikowany procentem prawidłowo sklasyfikowanych przypadków oraz krzywą ROC.

4. Wyniki

4.1. Częstość występowania dodatków do żywności w przetworach mięsnych

Analiza pozwoliła na zidentyfikowanie 1951 niepowtarzających się asortymentów, które należały do kategorii żywności 8.2 (surowe wyroby mięsne), 8.3 (produkty mięsne). Ponad 83,4% spośród nich zawierało azotyny (1628 produktów), ponad 36,1% kwas fosforowy lub fosforany (704 produktów) oraz około 39,8% kwas izoaskorbinowy lub izoaskorbinian sodu (777 asortymentów). Natomiast 273 asortymenty zawierały substancje dodatkowe, którym producenci nadali funkcję barwnika (13,88%).

Najczęściej występującym dodatkiem wśród przetworów mięsnych dostępnych na rynku polskim był azotyn sodu – E250. Ustalono, że 100% asortymentów należących do grupy studzienin (zimna przekąska, galareta mięsna, przyrządzana z nóżek wieprzowych lub wołowych z dodatkiem mięsa i warzyw) i metek zawierało azotyny. Bardzo wysoką częstość występowania zaobserwowano również w przypadku boczków, salcesonów oraz mielonek. Z najmniejszą częstością stosowany był w przypadku kielbasy białej surowej oraz kaszanek, pasztetów i smalców. Uzyskane wyniki pokazują, że możliwe jest również wytwarzanie produktów mięsnych bez użycia azotynów.

Fosforany tj. kwas fosforowy (E338), fosforany sodu (E339), fosforany potasu (E340), fosforany wapnia (E341), fosforany magnezu (E343), difosforany (E450), trifosforany (E451) i polifosforany (E452) najczęściej stosowane były do produkcji szynek konserwowych, studzienin oraz mielonek. Natomiast żaden z producentów nie użył ich podczas produkcji smalców oraz szynek surowych dojrzewających.

Kwas izoaskorbinowy oraz izoaskorbinian sodu występują zdecydowanie rzadziej w produktach mięsnych niż azotyny, a ich zastosowanie w produkcji można powiązać ze stosowaniem azotynów – tj. około 80,7% przetworów mięsnych, do których dodano E315 i/lub E316 zawierało również azotyn sodu lub potasu. Największą częstość występowania izoaskorbinianów sodu i/lub kwasu izoaskorbinowego odnotowano w grupie wędzonek parzonych, mielonek oraz studzienin. Najrzadsze zastosowanie wykazano w grupie kaszanek, smalców oraz w szynkach surowych dojrzewających.

W badanych przetworach mięsnych dostępnych na polskim rynku zidentyfikowano 12 dodatków do żywności, należących do grupy barwników. Najczęściej stosowanym barwnikiem był E120 – kwas karminowy, który użyty został w 67,3% asortymentów, w których zastosowano barwniki. Węgiel roślinny (E153), karoteny (E160A) oraz dwutlenek tytanu (E171) były najrzadszymi barwnikami, zidentyfikowanymi tylko w pojedynczych produktach.

4.2. Niezgodności w stosowaniu barwników identyfikowane na podstawie analizy etykiet

W przypadku barwników spożywczych brak jest możliwości jednoznacznego stwierdzenia prawidłowości ich użycia w produktach mięsnych wyłącznie na podstawie etykiet. Przyczyną jest niedopuszczenie części z nich do kategorii 8.2 (surowe wyroby mięsne) oraz 8.3.1 (produkty mięsne niepoddane obróbce cieplnej) i 8.3.2 (produkty mięsne poddane obróbce cieplnej) z jednoczesnym dopuszczeniem ich do stosowania w kategorii 8.3.3 – osłonki i dekoracje mięs. W związku z tym, wyroby, które nie spełniały wymagań stosowania barwników przeznaczonych dla kategorii żywności 8.2, 8.3.1 i 8.3.2 poddano ocenie wizualnej. Produkty, na których powierzchni zaobserwowano osłonkę jadalną lub dekorację mięs, uznano za zgodne. Analiza wykazała brak niezgodności w stosowaniu kurkuminy (E100), karotenów (E160A) oraz annato (E160B). Potencjalną niezgodność w zastosowaniu ryboflawiny (E101) i ekstraktu papryki (E160C) zaobserwowano odpowiednio w jednym z czterech i jednym z 31 produktów. Za potencjalnie niezgodne uznano również siedem spośród 183, do których użyty został kwas karminowy, osiem z 38 do których użyto karmele E150A-E150D oraz jeden z 29, do których użyto betaniny (E162). Możliwą niezgodność odnotowano również w przypadku E153, który nie jest dopuszczony do stosowania w żywności kategorii 8.2, 8.3.1 i 8.3.2; jednakże jest dopuszczony do stosowania w kategorii 8.3.3, gdyż ocena wizualna wykazała brak jadalnej osłonki oraz dekoracji. Ponadto produkty zawierające barwnik E171 zostały sklasyfikowane jako niezgodne, gdyż barwnik ten nie jest już dopuszczony do stosowania w żywności.

Spośród wszystkich analizowanych grup asortymentowych najwięcej niezgodności stwierdzono w przypadku wędzonek, a dodatkami o największym odsetku niezgodności są ryboflawina oraz grupa karmeli.

4.3. Analiza przewidywania występowania barwników w wyrobach mięsnych na podstawie cech produktów

Obecność barwników w przetworach mięsnych istotnie zależała od rodzaju produktu. Kielbasy ponad sześć razy częściej ($B=1,901$, $p<0,001$), a grupa innych produktów mięsnych trzy razy częściej ($B=1,068$, $p=0,005$) zawierały barwniki w porównaniu do wędzonek. Obecność barwników można było również przewidzieć na podstawie obecności wody ($p<0,001$) i aromatów ($p=0,001$) w produktach, jednak w obu przypadkach brak tego składnika (wody i aromatów) skutkował nieco mniejszą szansą na obecność barwnika (odpowiednio $B=0,591$ i $B=-0,494$). Prawdopodobieństwo obecności barwnika wzrastało wraz ze wzrostem zawartości tłuszczu i węglowodanów w przeliczeniu na 100 g produktu (odpowiednio $B=0,031$,

$p < 0,00$ i $B = 0,092$, $p = 0,001$), natomiast malało wraz ze wzrostem zawartości białka ($B = 0,070$, $p < 0,001$). Zawartość węglowodanów miała największy wpływ spośród trzech badanych współzmiennych. Podobne tendencje zaobserwowano w analizie przeprowadzonej dla grupy kielbas. Brak wody i aromatów wskazywał mniejsze szanse na wystąpienie barwnika (odpowiednio $B = -0,561$, $p = 0,004$ i $B = -0,466$, $p = 0,011$). Prawdopodobieństwo wystąpienia barwników wzrastało wraz z zawartością tłuszczu i węglowodanów (odpowiednio $B = 0,058$, $p < 0,001$ i $B = 0,093$, $p = 0,011$) i malało wraz ze wzrostem zawartości białka. W kielbasach zawartość białka oddziaływała silniej niż we wszystkich pozostałych produktach łącznie (odpowiednio $B = -0,070$ i $B = -0,111$).

Z analizy wyłączono barwniki spożywcze zidentyfikowane w mniej niż w pięciu asortymentach tj. E100, E101, E160A oraz te które nie są autoryzowane do zastosowania w produktach mięsnych i surowych wyrobach mięsnych tj. E153 oraz E171.

4.4. Ocena korzyści oraz zagrożeń dla zdrowia konsumentów

Ocenie stosowania barwników do żywności pod względem występowania korzyści oraz zagrożeń dla zdrowia konsumentów tj. genotoksyczności, rakotwórczości, toksyczności ostrej i przewlekłej oraz wpływu na wywoływanie alergii poddano 91 publikacji. Większość dostępnych analiz nie wskazuje na niekorzystny wpływ stosowania barwników do żywności na zdrowie człowieka, co sugeruje, że dodatki te są uważane za bezpieczne. Wątpliwości budzi jedynie stosowanie karmelu E150C i E150D ze względu na ich potencjalne działanie rakotwórcze oraz karminy i annato ze względu na możliwość wywoływania reakcji alergicznych.

4.5. Konsumpcja

Spośród 632 osób, które trzykrotnie wypełniły ankietę 50 zadeklarowało, że jest wegetarianami lub nie jadło mięsa w okresie trwania badania. Średnie dzienne spożycie produktów mięsnych i surowych wyrobów mięsnych w badanej grupie na osobę wahało się w zakresie od 3 g/dziennie do 615 g/dziennie i było różne w poszczególnych grupach wiekowych.

Wyższe spożycie mięsa przetworzonego zidentyfikowano we wszystkich grupach wiekowych mężczyzn, za wyjątkiem grupy dzieci do lat 6. Grupa młodzieży w wieku 12–17 lat charakteryzowała się wyższym poziomem konsumpcji w porównaniu z młodszymi dziećmi oraz dorosłymi do ukończenia 65 lat. Grupą o najwyższej średniej spożycia mięsa przetworzonego są dorośli w wieku powyżej 65 roku życia. Badania wykazały, że najmniej

mięsa spożywali Polacy ze średnim wykształceniem oraz mieszkający w miastach do 500 tys mieszkańców.

Wędzonki parzone, były najczęściej spożywanym rodzajem wędlin i stanowiły około 26,5% całkowitego spożycia produktów z mięsa przetworzonego. Parówki stanowiły około 14,5%, podczas gdy kiełbasy cienkie oraz grube stanowiły odpowiednio 9,3% i 7,7%. Surowe wyroby mięsne charakteryzowały się najmniejszą konsumpcją, a ich udział nie przekroczył 3% ogólnego spożycia produktów z mięsa przetworzonego.

4.6. Narażenie na azotyny

Na podstawie zebranych danych oszacowano średnie spożycie azotynów w produktach z mięsa przetworzonego na poziomie 2 jako 0,1 mg/kg masy ciała (tj. 143% ADI) oraz na poziomie 2a jako 0,08 mg/kg masy ciała (tj. 118% ADI). Po uwzględnieniu literaturowych danych dotyczących stężenia azotynów w poszczególnych grupach asortymentowych narażenie na poziomie 3 wyniosło 0,03 mg/kg masy ciała (tj. 43% ADI) oraz na poziomie 3a 0,026 mg/kg masy ciała (tj. 37% ADI). Uwzględnienie 5% konwersji azotanów, pochodzących z produktów z mięsa przetworzonego, nie spowodowało zmian w wielkości narażenia. W przypadku konsumentów o wysokiej konwersji tj. na poziomie 20% średnie spożycie azotynów wzrosło o niespełna 1%. W związku z tym wpływ konwersji azotanów z przetworzonego mięsa do azotynów uznano za nieistotny i pominięto go w dalszych analizach. Badania wykazały znaczące różnice w spożyciu azotynów pomiędzy kobietami i mężczyznami, którzy to konsumowali blisko dwa razy więcej azotynów niż kobiety. Wśród mężczyzn odnotowano również wyższy odsetek przekroczeń ADI.

Łącznie 53,48% konsumentów przekroczyło ADI dla azotynów po spożyciu wyłącznie przetworzonych produktów mięsnych na poziomie 2, 41,3 % na poziomie 2a. Na poziomie 3, 3a, 3b, przekroczenia te były odpowiednio niższe i wahały się między 4,9 a 8,2%. Wśród osób przekraczających ADI na poziomie 3 najwyższy odsetek miały dzieci w wieku 0-6 lat (43,3%), następnie starsi dorośli w wieku 55-64 lata (21,6%), dorośli w podeszłym wieku powyżej 65 lat (12,9%) oraz dzieci w wieku 7-11 lat (10%). Ponadto więcej osób z wykształceniem podstawowym i zawodowym przekroczyło ADI w porównaniu z osobami, które posiadały wykształcenie średnie lub wyższe. Niezależnie od poziomu narażenia na azotyny w przeliczeniu na kg masy ciała istotny wpływ miała płeć, wiek, wykształcenie i miejsce zamieszkania. Wykształcenie w powiązaniu z wiekiem i płcią, również znacząco wpływało na narażenie na azotyny. Głównymi czynnikami wpływającymi na przekroczenie ADI były płeć i wiek.

4.7. Narażenie na fosforany

Na podstawie danych dotyczących indywidualnej konsumpcji i maksymalnych poziomów stosowania zawartych w przepisach, oszacowano średnie spożycie fosforanów z przetworzonych produktów mięsnych na poziomie 2 jako 3,26 mg/kg masy ciała (tj. 8,2% ADI). Ponadto ustalono, że żaden z respondentów w oparciu o swoją indywidualną konsumpcję nie przekroczył wartości ADI dla fosforanów.

4.8. Narażenie na izoaskorbinian sodu i kwas izoaskorbinowy

W oparciu o zebrane dane dotyczące indywidualnej konsumpcji i maksymalnych poziomów stosowania oszacowano średnie narażenie na izoaskorbinian sodu i kwas izoaskorbinowy z przetworzonych produktów mięsnych na poziomie 2 jako 0,54 mg/kg masy ciała (tj. 9% ADI). Ponadto ustalono, że żaden z respondentów w oparciu o swoją indywidualną konsumpcję nie przekroczył wartości ADI dla izoaskorbinianu sodu i kwasu izoaskorbinowego.

4.9. Rozkład grup żywności w klasach Nutri-Score

Spośród badanych grup najczęściej na polskim rynku występowały produkty mięsne, stanowiące ponad 98,4% wszystkich przetworów mięsnych w porównaniu do surowych wyrobów mięsnych stanowiących niecałe 1,6%. Najliczniej reprezentowaną grupą technologiczną wyodrębnioną z produktów mięsnych były kielbasy (N=866, 51,76%), następnie wędzonki (N=534, 31,92%), wędliny podrobowe (N=155, 9,26%) oraz produkty blokowe (N=118, 7,05%). Stosując udoskonalony algorytm obliczeń najwięcej przetworów mięsnych zakwalifikowanych zostało do klasy D Nutri-Score (N=817, 48,06%), nieco mniej produktów do klasy E (N=701, 41,24%) i znacznie mniej produktów do klasy C (N=178, 10,47%). Natomiast do klas A i B łącznie zakwalifikowano 4 asortymenty, które stanowiły poniżej 0,25%.

4.10. Porównanie algorytmu oryginalnego i udoskonalonego

Zastosowanie udoskonalonego algorytmu nie wpłynęło na przesunięcie produktów zakwalifikowanych do klas D i E. Jediną, praktycznie niezauważalną zmianą, było zmniejszenie o pięć liczby produktów (z siedmiu do dwóch) sklasyfikowanych jako B na rzecz klasy C.

4.11. Porównanie produktów z mięsa białego i czerwonego

Stwierdzono istotne różnice w rozmieszczeniu zgodnie ze skalą Nutri-Score pomiędzy produktami z mięsa białego i czerwonego, wynikające z ich różnej wartości odżywczej.

Wartość energetyczna przetworów z mięsa białego jest o ponad jedną trzecią niższa niż przetworów mięsnych czerwonych. Wynosi ona średnio około 706 kJ, co jest między innymi spowodowane niższą zawartością większości składników odżywczych w 100 g produktu, zwłaszcza tłuszczu i SFA. Powyższe różnice znajdują także odzwierciedlenie w liczbie punktów przyznawanych poszczególnym produktom przy wykorzystaniu algorytmu Nutri-Score, co wskazuje na korzystniejszą klasyfikację produktów z mięsa białego.

4.12. Scenariusze zmiany receptury

W oparciu o analizę wartości odżywczych przetworów mięsnych oszacowano średnie wartości punktowe dla N-składników i P-składników dla każdej z analizowanych grup technologicznych. Wśród N-składników produkty mięsne najwięcej punktów otrzymały w związku z zawartością sodu, jako składnika soli. Mediana wartości punktowej soli dla wszystkich badanych produktów wyniosła dziewięć. Na drugim i trzecim miejscu wśród N-składników znalazły się kwasy tłuszczowe nasycone z sześcioma punktami oraz wartość energetyczna produktu (energia) z dwoma punktami. Żaden z produktów nie otrzymał punktów za owoce, warzywa, rośliny strączkowe, orzechy czy oliwę z oliwek, gdyż nie stanowiły one 40% ich składu. Mediana ocen dla błonnika i cukrów wyniosła zero (średnie odpowiednio 0,04 i 0,02), a zatem nie miała istotnego wpływu na wynik obliczeń według algorytmu Nutri-Score. Przeprowadzone scenariusze zmiany receptury, doprowadziły do znaczących modyfikacji alokacji produktów pomiędzy kategoriami Nutri-Score. Redukcja zawartości soli (sodu) o 30% spowodowała zmianę klasy w przypadku 505 produktów. Redukcja zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych o 10% spowodowała zmianę klasy w przypadku 76 asortymentów. Połączenie obu scenariuszy zmiany receptury spowodowało modyfikację klasyfikacji 598 produktów. Ponadto zastosowanie scenariusza redukcji sodu skutkuje widocznym wzrostem liczby produktów w klasie C przy jednoczesnym zmniejszeniu liczby asortymentów w klasie E.

4.13. Zawartość soli, a obecność wzmacniaczy smaku w produktach

Zawartość soli w istotny sposób objaśniała obecność w produktach wzmacniaczy smaku. Prawdopodobieństwo obecności wzmacniaczy smaku w produktach malało wraz ze wzrostem zawartości soli ($\chi^2=168,4$, $df=1$, $p<0,001$). Model ten nie był jednak dobrze dopasowany, gdyż odsetek prawidłowo sklasyfikowanych przypadków wyniósł jedynie 63 pomimo, że powierzchnia pod krzywą ROC była istotna statystycznie, to wartość AUC nie była wysoka ($AUC=0,649$).

5. Dyskusja

Spośród 12 zidentyfikowanych w trakcie badania barwników najczęściej występującym w przetworach mięsnych był E120 – karmina, a następnie ekstrakt z papryki, betanina, karmele i annato.

Obecność barwników zaobserwowano ponad sześciokrotnie częściej w kielbasach i ponad trzykrotnie w innych produktach mięsnych w porównaniu z wędzonkami, wędlinami podrobowymi i surowymi wyrobami mięsnymi. Należało się tego spodziewać ze względu na ograniczenia dotyczące stosowania barwników wskazane w rozporządzeniu (WE) 1333/2008. Analizowane barwniki są głównie dopuszczone do stosowania w produkcji kielbas (zaklasyfikowanych do kategorii 8.2, 8.3). Mogą być również stosowane w kategorii 8.3.2 do produkcji terrin i pasztetów, a dodatkowo w mielonkach. Barwniki nie są dopuszczone do stosowania w wędzonkach.

Przeprowadzona analiza etykiet przetworów mięsnych wskazała na nieautoryzowane użycie barwników w 20 z 273 produktów, co stanowi 7,33%. Najwięcej nieprawidłowości dotyczyło grupy technologicznej wędzonek, dlatego ta grupa powinna być w pierwszej kolejności poddana szczegółowej analizie chemicznej. Należy zaznaczyć, że każda żywność znajdująca się na rynku musi być bezpieczna dla zdrowia człowieka. Niezwykle ważne jest przestrzeganie przez FBO rozporządzenia (WE) 1333/2008 określającego stosowanie dodatków w produktach spożywczych.

Stwierdzono dodatnią korelację między obecnością wody w produktach mięsnych, a obecnością barwników. Związane jest to między innymi ze sposobem wytwarzania przetworów mięsnych, tj. tradycyjnym lub konwencjonalnym [74]. Może się do tego przyczyniać stosowanie w produktach wysokowydajnych dodatków wiążących wodę, takich jak fosforany, karagen czy skrobia [74-76]. Wydaje się zatem, że barwniki są mniej powszechne w produktach wytwarzanych tradycyjnie niż w konwencjonalnych produktach o wysokiej wydajności.

Stwierdzono również dodatnią korelację pomiędzy występowaniem barwnika, a zawartością tłuszczu w 100 g produktu. Sugeruje to, że w produktach wysokotłuszczowych częściej występowały barwniki. Nie ulega wątpliwości, że zawartość tłuszczu w przetworach mięsnych wpływa na ich barwę. Badania wykazały, że produkty o obniżonej zawartości tłuszczu były bardziej czerwone w porównaniu z produktami tłustymi [77-78]. Natomiast wyższa zawartość białka obserwowana w chudym mięsie, a co za tym idzie wyższy poziom pigmentu mioglobiny w produkcie, znacząco zwiększał zaczerwienienie produktu [79]. Produkty o większej zawartości tłuszczu były ciemniejsze i miały bardziej brązową barwę oraz

wyróżniały się zwiększeniem udziału barwy żółtej [80]. Większa zawartość tłuszczu, a także np. dodatek błonnika jęczmiennego, który powoduje znaczne ciemnienie i zwiększenie udziału żółtej barwy produktów mięsnych, może skutkować gorszą ich akceptacją przez konsumentów [81]. Można zatem ostrożnie stwierdzić, że przyczyną częstszego występowania barwników, może być chęć zamaskowania niekorzystnej barwy tłustych wyrobów mięsnych.

W badaniach stwierdzono dodatnią korelację pomiędzy obecnością barwnika, a zawartością węglowodanów w 100 g produktu. W produktach, w których część białek mięsnych zastąpiono spoiwami i wypełniaczami, takimi jak bułka tarta, płatki zbożowe, rośliny strączkowe i białko sojowe, zaobserwowano wzrost zawartości węglowodanów. Zatem zastosowanie barwników spożywczych miało na celu maskowanie zmiany koloru wywołanego przez wypełniacze [82]. Z tego powodu, prawdopodobnie im większa zawartość węglowodanów w asortymencie, tym większa potrzeba takiego kamuflażu. Natomiast, produkty o wysokiej zawartości białka, prawdopodobnie mają również niższą zawartość węglowodanów oraz odpowiednią barwę produktu mięsnego, wynikającą głównie z zawartości hemu i mioglobiny [83]. Ponadto niektóre barwniki powstają z określonych węglowodanów, np. karmelu [84], dlatego naturalne jest, że zawartość tych składników i barwników jest zgodna.

Większość dotychczasowych badań wykazuje, że karminy, ekstrakt z papryki oraz annato są nietoksyczne, nierakotwórcze, niegenotoksyczne oraz nie wywołują toksyczności reprodukcyjnej i rozwojowej, przy zachowaniu maksymalnego dziennego spożycia na poziomie ADI [85-87]. Nietoksyczna, niegenotoksyczna, nierakotwórcza jest również betanina [88]. Jednak zdaniem Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA – European Food Safety Authority), brak jest wystarczających badań do ustalenia dla niej ADI [89]. Liczne badania wskazują na korzystny wpływ betaniny na zdrowie człowieka. Najważniejsze z nich, to działanie przeciwutleniające, przeciwzapalne, obniżające ciśnienie krwi, przywracające hemodynamikę naczyń mózgu, wspomagające leczenie otyłości, cytotoksyczne w stosunku do niektórych komórek nowotworowych, chemoprewencyjne w stosunku do nowotworów [88,90-93]. Niedawno opublikowane badania wskazują również, że kwas karminowy może być skutecznym środkiem terapeutycznym wykorzystywanym jako element terapii w leczeniu przewlekłego uszkodzenia nerek wywołanego przez fruktozę [94].

W związku z brakiem doniesień o negatywnym wpływie ekstraktu z papryki oraz betaniny na zdrowie człowieka, przy jednoczesnych właściwościach przeciwutleniających oraz barwiących, dodatki te mogą być dobrym źródłem naturalnych antyoksydantów używanych

podczas produkcji wyrobów mięsnych [88,95-97] oraz podobnie jak annato mogą częściowo zastąpić stosowanie azotynów w produktach mięsnych [95-96,98].

Natomiast kwas karminowy jak i karmina mogą wywoływać u osób wrażliwych reakcje alergiczne. Począwszy od lekkiego świądu skóry [99], pokrzywki, obrzęku naczynioruchowego, wyprysków atopowych u dzieci [100-102], do ostrych reakcji nadwrażliwości, takie jak: duszność, skurcz oskrzeli, których wynikiem mogą być ciężkie reakcje anafilaktyczne [85,102-105].

Podobnie annato może wywoływać reakcje alergiczne. Wśród nich wymienić można świąd, pokrzywkę [106-108], obrzęk naczynioruchowy, a nawet reakcje anafilaktyczne [100, 109-110]. Barwnik ten, może mieć też wpływ na nasilenie objawów choroby u osób z zespołem jelita wrażliwego [111].

Karmele I, III oraz IV są nietoksyczne, zarówno w badaniach toksyczności ostrej, jak i przewlekłej, są niegenotoksyczne, nierakotwórcze, oraz nie wywołują one toksyczności reprodukcyjnej i rozwojowej przy zachowaniu akceptowalnego dziennego spożycia [112-113]. Wątpliwości w stosunku do stosowania karmelu III jako barwnika wzbudza immunotoksyczne działanie 2-acetyl-4-tetrahydroxy-butyylimidazolu (THI), który powstaje podczas jego wytwarzania [114], a w przypadku barwników karmelowych klasy III i IV zidentyfikowanie w ich składzie 4-metylimidazolu, który uznany jest za czynnik rakotwórczy [115].

Zastosowanie metody trzykrotnie powtórnego 24 godzinnego wywiadu żywieniowego, uznawanego za najlepszą metodę szacowania spożycia na poziomie populacji [116], daje możliwość bardziej dokładnej oceny konsumpcji poszczególnych asortymentów w porównaniu z często stosowaną metodą budżetową [117]. Niniejsze badanie pokazało, że średnie spożycie przetworzonego mięsa wśród respondentów wyniosło 48,2 g/dzień i jest zbliżone do wartości wskazanych przez Micha i in. [6], w oparciu o analizę danych za rok 2010. Konsumpcja przetworzonego mięsa w Polsce pozostaje na stałym wysokim poziomie, co więcej wśród dorosłych respondentów była ona blisko o 48% większa niż szacunkowe spożycie w tej grupie w populacji belgijskiej [118]. Związane jest to między innymi ze szczególnym przywiązaniem kulturowym Polaków do spożywania mięsa i jego przetworów [119].

Wykazano również, że konsumpcja była zależna od czynników społeczno-ekonomicznych, takich jak wiek, płeć i poziom wykształcenia oraz wielkość miasta zamieszkania. Ponadto należy zauważyć, że różnice w szacowanej wielkości spożycia mogą zależeć także od metod oceny wielkości konsumpcji oraz od czasu przeprowadzania badania [120].

Część polskiego społeczeństwa może być narażona na przekroczenie ADI dla azotynów

pochodzących jedynie z przetworzonych produktów mięsnych. Wyniki badania wykazały, że około 43,3% dzieci w wieku 1-6 lat przekroczyło ADI dla azotynów na poziomie 3, oraz 23,3% na poziomie 3a, podczas gdy w Serbii było to 9,3% dzieci w wieku 1-9 lat [121], a w Szwecji po uwzględnieniu konwersji azotanów do azotynów tylko 12% 4-letnich dzieci [122]. Pokazuje to, że polskie dzieci bez uwzględnienia narażenia wynikającego z konwersji azotanów do azotynów wykazują między 2 a 3,5 razy częstsze przekroczenia ADI. Ustalono także, że średnie narażenie dla polskich dzieci w wieku 1-6 lat na azotyny pochodzące jedynie z produktów mięsnych wynosiło 95 % ADI na poziomie 3 oraz 81% na poziomie 3a. W USA wahało się ono od 0,1 do 30% ADI w grupie dzieci w wieku 2 lat i od 0,1 do 86% ADI w grupie dzieci w wieku 2–5 lat [120]. W Szwecji spożycie azotynu z peklowanego mięsa w grupie czterolatków stanowiło około 18% ADI [122], w Serbii niespełna 30% ADI [121], oraz 16 – 19% ADI w Dani [123]. Natomiast u estońskich dzieci w wieku 1–6 lat w 2004 roku stanowiło około 50% ADI [124], ale już o połowę mniej (około 25%) w 2014 roku [125]. Wyniki wskazują zatem, że narażenie na azotyny wśród małych dzieci z samych przetworów mięsnych jest na bardzo wysokim poziomie, co w połączeniu z narażeniem z innych kategorii żywności oraz konwersją azotanów do azotynów z wody i warzyw może prowadzić do bardzo wysokich przekroczeń ADI. Dane te są bardzo niepokojące, ponieważ ekspozycja w przypadku konsumentów odznaczających się wysokim spożyciem, w tej grupie wiekowej na poziomie 3 i 3a wyniosła odpowiednio 175 i 146%.

W Belgii narażenie na azotyny z przetworzonego mięsa w grupie osób powyżej 15 roku życia stanowiło około 6% ADI [118], a wśród dorosłych Polaków aż 40% ADI na poziomie 3 oraz 34% na poziomie 3a. Dla porównania w Nowej Zelandii średnie dzienne spożycie egzogennych azotynów przez osobę dorosłą łącznie z żywnością i wodą osiągnęło około 13% ADI [126]. W Danii było jeszcze niższe i wyniosło około 5% ADI [123]. Na Fidżi jak pokazują badania dorośli odznaczają się bardzo wysokim spożyciem mięsa oraz przetworów mięsnych, co skutkuje wysokim średnim narażeniem na azotyn na poziomie 385% ADI [127], czyli około dziesięciokrotnie wyższym niż w Polsce.

Średnie stężenie azotynów w przetworach mięsnych we wszystkich grupach asortymentowych wyniosło 42,4 mg/kg (za lata 1993-2004). Było ono co najmniej dwukrotnie wyższe niż poziom stosowania azotynów, w podobnym czasie w Estonii, około 20 mg/kg produktu [124], oraz Danii od 6 do 20 mg/kg produktu [123].

Porównanie przeprowadzonych badań narażenia na azotyny w Polsce oraz innych krajach Europy i świata jest trudne, ze względu na fakt zastosowania różnych metodologii oszacowania spożycia i narażenia oraz innych grup docelowych. Co więcej, w niektórych analizach

oszacowano narażenie na azotyny wyłącznie jako dodatki do żywności, podczas gdy inne skupiały się na całkowitym narażeniu z diety na te substancje [128]. Różnice narażenia zaobserwowane w poszczególnych krajach mogą odzwierciedlać różnice kulturowe w preferencjach dietetycznych oraz sposobie obróbki mięsa, poziomie stosowanych azotynów na 1 kg mięsa, czego następstwem mogą być duże różnice w spożyciu azotynów pomiędzy tymi krajami [120]. Wcześniejsze badania wykonane w Polsce przez Anyżewską i Wawrzyniak [129] oszacowały narażenie na azotyny i azotany na poziomie połowy ADI dla tych dodatków, podczas gdy niniejsze badania wskazują na znaczne przekroczenia narażenia. Rozbieżności te mogą wynikać z odmiennych metodologii badań zastosowanych w obu eksperymentach. Poprzednie badania bazują na wielkości spożycia oszacowanej na podstawie średnich danych statystycznych za lata 2006–2012, a nie danych pozyskanych od indywidualnych respondentów.

W Polsce, w grupie dzieci do lat 6, grupą asortymentową przyczyniającą się w największym stopniu do narażenia na azotyny były kielbasy (54%) oraz wędzonki (43%). Pozostałe 3% stanowiły wędliny podrobowe oraz inne produkty mięsne. Wśród grupy kielbas największe znaczenie miały podgrupy: kielbasek (frankfurtek) oraz parówek i kabanosów. Jest to spójne z badaniami wykonanymi na terenie USA, Estonii i Danii, gdzie głównym źródłem azotynów stanowiącym odpowiednio 64%, 49% oraz 42% narażenia były kielbasy [120,123,125]. W Estonii [124-125] oraz Finlandii [130], podobnie jak w Polsce, podgrupy kielbasek i parówki stanowiły ważne źródło azotynów w grupie małych dzieci. W Serbii w największym stopniu do narażenia na azotyny przyczyniały się kielbasy i mielonki [121], podczas gdy w Polsce narażenie z mielonek wśród dzieci było bliskie 0. W grupie dorosłych Polaków narażenie na azotyny wynikające ze spożywania wędzonek wyniosło 46%, kielbas 37%, innych produktów mięsnych (produktów blokowych) 7,5%, wędlin podrobowych 6,5%, surowych wyrobów mięsnych 3%.

Tak duże narażenie na azotyny z przetworów mięsnych, a tym samym duża częstość ich stosowania związana jest z ich działaniem przeciwbakteryjnym i spowalniającym psucie się żywności. Hamują one wzrost bakterii takich jak *C.botulinum* oraz tworzenie przez nie toksyn [14-17], jak również ograniczają wzrost innych drobnoustrojów przenoszonych przez żywność w tym *Salmonella* spp. i *L. monocytogenes*, co jest bardzo ważne w kontekście ochrony zdrowia publicznego [18-21]. Ponadto azotyny hamują peroksydację lipidów, proces jęlczenia tłuszczów, a co za tym idzie zwiększają trwałość wędlin [22]. Dodanie azotynów do mięsa rozpoczyna liczne reakcje chemiczne, których wynikiem jest między innymi utrwalenie koloru oraz przyjęcie innych charakterystycznych cech peklowanego mięsa, w tym smaku i aromatu

[16,18,22]. Jednakże, wysokie narażenie dietetyczne na azotyny może prowadzić do wystąpienia niekorzystnych skutków zdrowotnych. Azotyny są prekursorami nitrozamin [15], a to właśnie one, a nie same azotyny uznane zostały za czynniki rakotwórcze, ponieważ przyczyniają się do zwiększenia ryzyka wystąpienia nowotworów żołądka. Wspólnie z innymi związkami występującymi w przetworzonym mięsie mogą również prowadzić do wystąpienia nowotworów jelita grubego [131]. Spożycie azotynów w wysokim stężeniu może przyczyniać się również do wystąpienia sinicy (methemoglobinemii) lub niedotlenienia anemicznego, ze względu na upośledzenie transportu tlenu we krwi [132].

Zgodnie z raportem EFSA w przypadku zastosowania udoskonalonego scenariusza oceny narażenia, kategoriami żywności przyczyniającymi się w głównej mierze do narażenia na fosforany były: chleb i bułki oraz drobne wypieki we wszystkich grupach wiekowych; ser topiony u małych dzieci; oraz produkty mięsne, cukry i syropy u dzieci, dorosłych i osób starszych. Przetworzone produkty mięsne stanowiły od 5,1 do 21,8% narażenia na fosforany [133]. W przeprowadzonych badaniach średnie narażenie na fosforany z przetworzonych produktów mięsnych w grupie dzieci wahało się od 13,8% ADI na poziomie 2 do 4,7% ADI na poziomie 2a. W przypadku konsumentów odznaczających się wysokim spożyciem (95p) narażenie wahało się od 28,1% ADI na poziomie 2 do 10,2% ADI na poziomie 2a. Można zatem uznać, że wartość średniego narażenia uwzględniającego częstość występowania dodatku w badanej grupie asortymentowej (poziomie 2a), znajduje się poniżej minimalnej wartości narażenia dla tej grupy wiekowej oszacowanej przez EFSA.

Stwierdzono, że pomimo iż fosfor jest niezbędny w diecie człowieka, to nadmierne jego ilości mogą wiązać się z niekorzystnymi skutkami zdrowotnymi. Najważniejsze to: zwapnienie nerek i nefropatia oraz przerost lewej komory serca, zwapnienie naczyń krwionośnych, migotanie przedsionków, niewydolność serca i śmiertelność z przyczyn sercowo-naczyniowych oraz powstanie zaburzeń w układzie kostnym, w tym demineralizacji kości, osteoporozy i złamań kości [121,133].

Zgodnie z raportem EFSA głównymi kategoriami żywności przyczyniającymi się do całkowitego narażenia na kwas izoaskorbinowy (E315) i izoaskorbinian sodu (E316) przy zastosowaniu scenariusza oceny, w którym dodatki stosowane były na maksymalnym poziomie, są: produkty mięsne poddane i niepoddane obróbce cieplnej, przetworzone ryby i produkty rybołówstwa, konserwy i półkonserwy rybne oraz ikra rybna. Ustalono, że we wszystkich analizowanych grupach wiekowych produkty mięsne stanowiły od 50 do 100% narażenia na w/w dodatki. W przypadku zastosowania udoskonalonego scenariusza oceny narażenia kategoriami żywności przyczyniającymi się w głównej mierze do narażenia na

kwaski askorbinowy i askorbinian sodu były produkty mięsne (poddane i niepoddane obróbce cieplnej) i stanowiły one około 96-100% narażenia na w/w dodatki [134]. W niniejszym badaniu średnie narażenie na kwas askorbinowy i askorbinian sodu z produktów mięsnych stanowiło 5,23% ADI na poziomie 2, oraz 18,7% ADI na poziomie 2 w przypadku konsumentów odznaczających się wysokim spożyciem (95p). Wyników powyższych analiz nie można było porównać z wynikami podobnych badań z krajów europejskich i pozaeuropejskich, ponieważ narażenie na w/w przeciwutleniacze z produktów mięsnych dotychczas nie było przedmiotem innych publikacji. Jednak biorąc pod uwagę, że kategoriami żywności odpowiadającymi za narażenie w przypadku zastosowania obliczeń na poziomie 2, są głównie produkty mięsne, można przyjąć, że spożycie kwasu askorbinowego i askorbinianu sodu w Polsce jest znacznie poniżej ADI. W badaniu przeprowadzonym we Włoszech również na poziomie 2, oceniającym narażenie ze wszystkich kategorii na powyższe dodatki, ustalono, że ADI nie zostało przekroczone, a narażenie stanowi 20% ADI oraz 50% ADI w przypadku konsumentów odznaczających się wysokim spożyciem (95p) [135].

Badania przeprowadzone w wielu krajach pokazują, że umieszczanie etykiet „z przodu opakowania” zwiększa zdolność konsumentów do oceny produktów pod kątem ich wartości odżywczej, a tym samym dokonywania zdrowszych wyborów żywieniowych [136-138]. Dodatkowo, systemy klasyfikujące produkty od korzystniejszego do mniej korzystnego są bardziej zrozumiałe dla konsumentów niż systemy wykorzystujące wyłącznie pozytywne lub negatywne informacje [139]. Ponadto stwierdzono, że w wielu krajach europejskich, systemy interpretacyjne, w szczególności Nutri-Score, zapewniają konsumentom największą pomoc w ogólnej ocenie jakości odżywczej produktów spożywczych. W Belgii, Francji, Niemczech, Hiszpanii, Wielkiej Brytanii, Danii, Bułgarii, Holandii, Szwajcarii, Portugalii, Grecji i Polsce Nutri-Score okazał się najskuteczniejszym narzędziem informowania konsumentów o jakości odżywczej żywności [140-148]. Można to przypisać łatwości, z jaką konsumenci interpretują etykiety zawierające kodowanie kolorami [144,149].

Ponadto Engell i in. podają, że etykiety FOP mogą przyczynić się do zmniejszenia śmiertelności związanej z chorobami niezakaźnymi zależnymi od diety, przy czym Nutri-Score okazał się wśród nich najskuteczniejszy. Szacuje się, że około 3,4% wszystkich przypadków zgonów, z powodu chorób niezakaźnych związanych z dietą, można by zapobiec poprzez wdrożenie etykiety FOP Nutri-Score [150]. Ponadto w/w FOP promują zdrowsze decyzje żywieniowe wśród osób cierpiących na przewlekłe choroby kardiometaboliczne [151].

Przetwory mięsne i ich grupy charakteryzują się dużym zróżnicowaniem pod względem wartości odżywczej, a przeciętnemu konsumentowi nie jest łatwo dostrzec różnicę między nimi. W związku z tym zastosowanie pięciostopniowej skali oceny mogłoby umożliwić skuteczne rozróżnienie jakości odżywczej różnych asortymentów w ramach tej samej grupy. W takich przypadkach odpowiednie oznakowanie produktów umożliwiłoby konsumentom podejmowanie bardziej świadomych decyzji. Jednakże Nutri-Score jest systemem interpretacyjnym, a nie systemem informacyjnym, choć może pomóc w wyborze lepszego produktu z określonej grupy produktów, zawiera ograniczone informacje dla osób o konkretnych potrzebach żywieniowych [152]. Wynika to z faktu, że identyczną ocenę mogą uzyskać produkty o różnych właściwościach odżywczych, a ocena ta nie dostarcza informacji o określonych składnikach odżywczych, takich jak cukry, sól i tłuszcze nasycone, które mogą być ważne dla określonych grup konsumentów. Zatem produkty o tej samej ocenie mogą mieć różny wpływ na zdrowie w zależności od indywidualnych cech [153]. Według Carruba i in. etykiety Nutri-Score FOP w niewielkim stopniu pomagają konsumentom w identyfikacji żywności mniej lub bardziej odpowiadającej ich konkretnym potrzebom. Dodatkowo zastosowany algorytm polega na ocenie zawartości wybranych składników odżywczych i energii w przeliczeniu na 100 g produktu bez uwzględnienia wielkości zwykle spożywanej porcji żywności, co nie pomaga w zachowaniu prawidłowego BMI (Body Mass Index) i nie zmniejsza prawdopodobieństwa wystąpienia nadwagi lub rozwoju otyłości [152]. Z drugiej jednak strony, Julia i in. ustalili, że etykieta wartości odżywczej oparta na punktacji Agencji ds. Standardów Żywności (FSA – Food Standards Agency) może pomóc konsumentom w podejmowaniu zdrowszych wyborów żywieniowych i potencjalnie odegrać rolę w długoterminowym zapobieganiu otyłości [154]. Natomiast wdrożenie oznakowania FOP zachęciło producentów do przeformułowania swoich obecnych produktów lub stworzenie nowych produktów, które uznawane są za zdrowsze, co przynosi znaczne korzyści dla zdrowia publicznego [155,156].

Niniejsze badanie jako pierwsze kompleksowo opisuje rozkład przetworzonych produktów mięsnych według klasy Nutri-Score. Wyniki wskazują, że 89,3% dostępnych na polskim rynku przetworów mięsnych zalicza się do klasy D lub E. Zakwalifikowano je zatem do kategorii, których spożycie powinno być ograniczone, co jest zgodne z polskimi wytycznymi żywieniowymi, w których to zwraca się uwagę między innymi na ograniczenie spożycia mięsa czerwonego i przetworów mięsnych [157-158].

Podobnie jak w badaniu przeprowadzonym przez Dréano-Trécant i in., w którym analizowano produkty z ośmiu krajów europejskich, w tym z Polski, również w niniejszym

badaniu stwierdzono, że przetworzone mięso można sklasyfikować we wszystkich pięciu klasach Nutri-Score [159]. Dominującą w przypadku pięciu krajów tj. Finlandii, Norwegii, Portugalii, Szwecji oraz Polski była kategoria D, co jest zbieżne z wynikami otrzymanymi w niniejszym badaniu. W przypadku Francji i Szwajcarii dominująca była kategoria E, a w Słowacji kategoria A [159]. Badania przeprowadzone na rynku niemieckim wykazały, że łączny odsetek przetworów mięsnych zaliczanych do kategorii D i E wynosi 95,8%, czyli jest nieco wyższy niż w niniejszym badaniu, przy czym dominującą klasą jest E [160].

Z przeprowadzonych badań wynika, że zastosowanie udoskonalonego algorytmu nie wpłynęło na modyfikację alokacji produktów zaliczonych do klas D i E. Obniżenie liczby punktów za P-składnik, jakim było białko z maksymalnie 5 do maksymalnie 2 punktów spowodowało wzrost średniej liczby punktów przyznawanych produktom w klasie C, jednak nie wpłynęło na ich przesunięcie do klasy D. Natomiast zmianę klasy odnotowano w przypadku pięciu produktów pierwotnie klasyfikowanych jako B, które po zastosowaniu udoskonalonego algorytmu zakwalifikowane zostały do klasy C. Zatem przeprowadzone badanie wskazuje, że zmiana algorytmu nie wywołała znaczących zmian w rozkładzie produktów pomiędzy klasami na polskim rynku. Natomiast badania przeprowadzone na rynku belgijskim, francuskim, niemieckim i holenderskim wykazały, że zastosowanie udoskonalonego algorytmu Nutri-Score spowodowało znaczną realokację przetworów mięsnych pomiędzy klasami [72].

Wśród produktów należących do tej samej grupy żywności zarówno w przypadku oryginalnego jak i udoskonalonego algorytmu Nutri-Score korzystniej sklasyfikowane zostały produkty wytworzone z mięsa drobiowego. Zatem zmiana punktacji mająca na celu promowanie mięsa drobiowego zamiast mięsa czerwonego nie miała na to wpływu. W przypadku kiełbas drobiowych blisko 91,5% produktów zakwalifikowano do klasy D, podczas gdy w przypadku kiełbas wytworzonych z mięsa czerwonego blisko 71% zakwalifikowano do klasy E. To potwierdza badania, które sugerują, że zwiększenie spożycia białego mięsa w stosunku do mięsa czerwonego, może wiązać się ze zmniejszeniem ryzyka raka żołądka [36] oraz udaru [31].

Z dotychczasowych ustaleń wynika, że najwięcej punktów z grupy N-składników uzyskały przetwory mięsne ze względu na zawartość sodu (jako składnika soli). Ustalenia WHO wskazują, że większość ludzi spożywa zbyt duże ilości soli, ponad dwukrotnie wyższe od zalecanych [49]. Polska wykazuje najwyższe spożycie soli spośród dziewięciu badanych krajów europejskich [161]. Dane te, w połączeniu z szacunkami, że 20–30% soli w diecie pochodzi z mięsa i przetworów mięsnych [162-163], podkreślają konieczność ograniczenia spożycia soli z w/w produktów. Wysokie spożycie soli może wiązać się z wieloma

niekorzystnymi skutkami zdrowotnymi, takimi jak zwiększone ryzyko nadciśnienia tętniczego [162,164], co z kolei skutkuje zwiększonym ryzykiem wystąpienia udaru mózgu oraz chorób sercowo-naczyniowych [165]. Ponadto niektóre badania wskazują również, że wysokie spożycie soli w diecie może wiązać się ze zwiększonym ryzykiem raka żołądka i chorób nerek oraz ryzykiem wystąpienia nadwagi i otyłości [164]. Należy jednak pamiętać, że sód jest niezbędnym składnikiem odżywczym i jego zbyt niskie stężenie również negatywnie wpływa na organizm człowieka, powodując zwiększenie poziomu reniny i aldosteronu [166]. Hendriksen i in. oszacowali, że zmniejszenie spożycia soli w diecie, w Polsce o 30% zmniejszyłoby częstość występowania udaru mózgu o 13,5%, choroby niedokrwiennej serca o 8,9%, oraz zgonów z powodów chorób układu krążenia o 5% [161]. W niniejszym badaniu symulowana 30% redukcja ilości soli stosowanej w przetworach mięsnych spowodowała 29,71% modyfikację alokacji produktów pomiędzy klasami. Zaobserwowano wyraźne zmniejszenie liczby produktów przypisanych do klasy E oraz wzrost liczby produktów zaliczanych do klasy B. Można zatem podejrzewać, że uwzględniając wyłącznie wartości odżywcze, zmniejszenie ilości soli stosowanej w przetworach mięsnych sprawi, że będą one zdrowsze dla konsumentów.

Przeprowadzone badania wykazały, że w grupie N-składników dużą liczbę punktów przetwory mięsne otrzymywały również w związku z zawartością SFA. Wysokie spożycie tłuszczów wiąże się z występowaniem wielu chorób cywilizacyjnych, a nadmierne spożycie SFA jest czynnikiem wywołującym choroby układu krążenia [167]. Należy jednak pamiętać, że oprócz dostarczania energii, tłuszcze silnie wpływają na konsystencję, smak i wygląd produktu, a także na jego charakterystyczną strukturę oraz zapach [168]. Ograniczenie zawartości SFA w produkcie może wiązać się z koniecznością stosowania zamienników tłuszczu, aby zachować jego atrakcyjność sensoryczną [168-169].

Produkty mięsne o zredukowanej ilości soli często odbiegają sensorycznie od tych produkowanych w sposób konwencjonalny. Inna konsystencja oraz smak rodzi wobec nich niechęć konsumentów, ograniczając tym samym skuteczność wprowadzanych programów redukcyjnych [170]. Sól pełni w produktach spożywczych, poza nadawaniem smaku, wiele innych funkcji, takich jak przedłużanie okresu przydatności do spożycia i konserwowanie żywności poprzez zmniejszenie aktywności wody [161-162,171-173]. Ponadto sól może również działać jako środek wiążący mięso z tłuszczem i sprzyjać rozpuszczaniu białek mikrofibrilarnych, w celu utrzymania właściwej tekstury produktów [161-162]. Stąd głównym wyzwaniem stojącym przed przemysłem mięsnym jest zmniejszenie stężenia soli, przy jednoczesnym zachowaniu akceptowalności sensorycznej, atrakcyjnych cen wyrobów (sól jest

tańsza od jej zamienników [162]) oraz bezpieczeństwa przetworzonych produktów mięsnych [174-175].

Niniejsze badanie wykazało, że produkty o niższej zawartości soli częściej zawierały wzmacniacze smaku niż produkty bogate w sól. Wynika to z faktu, że opracowywanie produktów o obniżonej zawartości soli polega na zastępowaniu soli i/lub dodaniu wzmacniaczy smaku oraz środków maskujących niepożądany smak [162,176-177]. Wśród substytutów wymienić należy inne sole chlorkowe, takie jak KCl [178-181], CaCl₂ i MgCl₂ [182-183], sole niechlorkowe, takie jak mleczan i diocetan [184] jak również wzmacniacze smaku, takie jak arginina, lizyna, inozynian sodu, guanylan sodu, tauryna, glicyna, ekstrakty drożdżowe i glutaminian sodu [176,185-187].

Niniejsze badania mają kilka ograniczeń. Chcąc uzyskać kompleksowy przegląd polskiego rynku, a co za tym idzie uwzględnić jak największą liczbę próbek, analizy oparto na danych pochodzących z etykiet przetworów mięsnych (deklaracjach producenta dotyczących zastosowanych dodatków, wartości składników odżywczych), a nie na ich analizach chemicznych. W związku z tym badanie ograniczono do produktów, które zawierały pełne informacje na etykietach i w oparciu o te dane określano zgodność produktów z wymaganiami prawnymi.

Ponadto, ponieważ na etykietach nie jest wymagane umieszczanie informacji o zawartości błonnika (element algorytmu Nutri-Score – trzeci etap badań), dane te należało uzyskać bezpośrednio od podmiotów prowadzących przedsiębiorstwa spożywcze. W sytuacji braku odpowiedzi z ich strony zawartość błonnika była szacowana na podstawie wartości średniej dla pozostałych produktów w danej grupie.

Ze względu na ograniczony dostęp do odpowiedniego typu lub pochodzenia geograficznego uczestników badania, respondenci podczas zbierania danych dotyczących spożycia żywności nie byli dobierani losowo, co mogło skutkować stronniczością badanej populacji. Jednakże w trakcie badania uzyskano odpowiedzi od respondentów zróżnicowanych pod względem płci, grupy wiekowej, poziomu wykształcenia i miejsca zamieszkania.

Dane dotyczące stężeń azotynów w produktach mięsnych użyte podczas powyższej analizy oparte są o dane literaturowe z lat 1993-2004. Brak aktualnych badań w połączeniu z zaobserwowaną w innych krajach tj. Estonii i Francji tendencją do obniżania ilości stosowanych azotynów podczas produkcji surowych wyrobów mięsnych i produktów mięsnych może skutkować przeszacowaniem wyników. Ponadto brak bezpośredniego związku pomiędzy ilością azotynów dodanych w procesie produkcji a ich stężeniem w produkcie końcowym [14] również może prowadzić do błędów w wynikach. Azotyny dodane do mięsa w trakcie produkcji

ulegają degradacji, a ich poziomy pozostałości w produkcie końcowym są zależne od temperatury obróbki termicznej, czasu przechowywania, pH produktu czy zastosowania przeciwutleniaczy [14,188]. Wydaje się bardziej właściwym opierać się w trakcie badań na ilości substancji dodanej, a nie stężeniu pozostałości azotynów w produkcie końcowym.

6. Wnioski

1. Obecność wody i aromatów oraz wzrost zawartości tłuszczu i węglowodanów w 100 g produktu mięsnego zwiększa prawdopodobieństwo obecności barwnika. Natomiast prawdopodobieństwo to maleje wraz ze wzrostem zawartości białka. Powyższe obserwacje powinny być wykorzystywane podczas weryfikacji prawidłowości stosowania barwników.
2. Identyfikowane w produktach mięsnych i surowych wyrobach mięsnych barwniki są bezpieczne, w tym najczęściej występująca karmina. Należy jednak zachować rozwagę przy stosowaniu karminy i annato ze względu na możliwość wywoływania przez nie reakcji alergicznej oraz karmelu E150C i E150D ze względu na ich potencjalne działanie rakotwórcze.
3. Najczęściej nieprawidłowości dotyczące stosowania barwników w przetworzonym mięsie identyfikowane były w grupie wędzonek. Natomiast dodatkami, dla których stwierdzono najwyższy procent produktów niezgodnych w stosunku do wszystkich produktów do których zostały dodane, były ryboflawina i grupa karmelów. Powyższe analizy pozwoliły wyróżnić barwniki oraz grupy technologiczne żywności, dla których weryfikacja prawidłowości stosowania barwników powinna odbywać się w pierwszej kolejności.
4. W Polsce narażenie dietetyczne na azotyny pochodzące z przetworów mięsnych jest bardzo wysokie i w wielu przypadkach przekracza ADI, szczególnie w grupie dzieci poniżej 6 roku życia. Powyższe przekroczenia skorelowane z wysokim spożyciem przetworzonego mięsa przez Polaków są alarmujące i są zagrożeniem dla zdrowia publicznego. Natomiast narażenie dietetyczne na fosforany z produktów mięsnych jest na poziomie znacznie poniżej ADI. Niemniej jednak w/w kategoria żywności nie jest jedyną odpowiadającą za narażenie dietetyczne, co skutkować może przekroczeniem ADI po zsumowaniu narażenia z wszystkich kategorii żywności.
5. Narażenie dietetyczne na kwas izoaskorbinowy i izoaskorbinian sodu pochodzące z produktów mięsnych jest znacznie poniżej ADI. Zsumowane narażenie z wszystkich kategorii żywności nie powinno doprowadzić do przekroczenia ADI, ze względu na fakt, że produkty mięsne są główną kategorią przyczyniającą się do narażenia na powyższe dodatki.
6. Większość przetworzonych produktów mięsnych dostępnych na polskim rynku sklasyfikowano w klasach D i E Nutri-Score, czyli w klasach żywności, której spożycie powinno być ograniczone. Przy czym produkty z mięsa drobiowego ocenione zostały korzystniej niż produkty z mięsa czerwonego. W celu uzyskania korzystniejszych dla konsumenta przetworzonych produktów mięsnych, a tym samym lepiej ocenionych w skali Nutri-Score, producenci zmuszeni są do wprowadzenia zmian w ich składzie. Modyfikacje

te, polegają zwykle na ograniczeniu zawartości soli i SFA tj. zawartości składników, które otrzymały najwięcej negatywnych punktów wg algorytmu Nutri-Score. Przeprowadzona symulacja obniżenia zawartości soli o 30% oraz SFA o 10% wpłynęła znacząco na zmianę klasyfikacji produktów oraz uzyskanie przez nie korzystniejszej oceny. Ponadto produkty o niższej zawartości soli częściej zawierały wzmacniacze smaku, co wiąże się z chęcią poprawy smakowitości tych produktów i zastosowaniem substytutów soli.

7. Zastosowanie udoskonalonego algorytmu Nutri-Score nie zmodyfikowało w istotny sposób klasyfikacji przetworów mięsnych dostępnych na polskim rynku. Tym niemniej istnieje potrzeba pozyskania większej liczby informacji na temat skuteczności wykorzystania Nutri-Score do oceny jakości żywności. Ustalenia te mogą odegrać ważną rolę we wprowadzeniu zharmonizowanego systemu etykietowania FOP w krajach Unii Europejskiej.

7. Bibliografia

1. Geiker, N.R.W.; Bertram, H.C.; Mejbörn, H.; Dragsted, L.O.; Kristensen, L.; Carrascal, J.R.; Bügel, S.; Astrup, A. Meat and Human Health - Current Knowledge and Research Gaps. *Foods* **2021**, *10*, 1556.
2. Laskowski, W.; Górską-Warsewicz, H.; Kulykovets, O. Meat, Meat Products and Seafood as Sources of Energy and Nutrients in the Average Polish Diet. *Nutrients* **2018**, *10*, 1412.
3. Thornton, P.K. Livestock production: Recent trends, future prospects. Philosophical transactions of the Royal Society of London. *Biol. Sci.* **2010**, *365*, 2853–2867.
4. Daniel, C.R.; Cross, A.J.; Koebnick, C.; Sinha, R. Trends in meat consumption in the USA. *Public Health Nutr.* **2011**, *14*, 575–583.
5. Stoś, K.; Rychlik, E.; Woźniak, A.; Ołtarzewski, M. Red and Processed Meat Consumption in Poland. *Foods* **2022**, *11*, 3283.
6. Micha, R.; Khatibzadeh, S.; Shi, P.; Andrews, K.G.; Engell, R.E.; Mozaffarian, D. Global Burden of Diseases Nutrition and Chronic Diseases Expert Group (NutriCoDE). Global, regional and national consumption of major food groups in 1990 and 2010: a systematic analysis including 266 country-specific nutrition surveys worldwide. *BMJ open*. **2015**, *5*, e008705.
7. Speedy, A.W. Global production and consumption of animal source foods. *J Nutr.* **2003**, *133*, 4048–4053.
8. Godfray, H.C.J.; Aveyard, P.; Garnett, T.; Hall, J.W.; Key, T.J.; Lorimer, J.; Pierrehumbert, R.T.; Scarborough, P.; Springmann, M.; Jebb, S.A. Meat consumption, health, and the environment. *Science (New York. N.Y.)* **2018**, *361*, 5324.
9. Koch, C.; Koch, E.C. Preconceptions of taste based on color. *J. Psychol.* **2003**, *137*, 233–242.
10. Wadhera, D.; Capaldi-Phillips, E.D. A review of visual cues associated with food on food acceptance and consumption. *Eat. Behav.* **2014**, *15*, 132–143.
11. Silva, M.M.; Reboredo, F.H.; Lidon, F.C. Food Colour Additives: A Synoptical Overview on Their Chemical Properties, Applications in Food Products, and Health Side Effects. *Foods* **2022**, *11*, 379.
12. Spence, C.; Wan, X.; Woods, A.; Velasco, C.; Deng, J.; Youssef, J.; Deroy, O. On tasty colours and colourful tastes? Assessing, explaining and utilizing crossmodal correspondences between colours and basic tastes. *Flavour* **2015**, *4*, 23.
13. Spence, C.; Levitan, C.A.; Shankar, M.U.; Zampini, M. Does Food Color Influence Taste and Flavor Perception in Humans? *Chemosens. Percept.* **2010**, *3*, 68–84.

14. EFSA. Panel on Biological Hazards. Scientific Opinion on a request from the Commission related to the effects of Nitrites/Nitrates on the Microbiological Safety of Meat Products. *EFSA J.* **2003**, *14*, 1-34.
15. EFSA. Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). Statement on nitrites in meat products. *EFSA J.* **2010**, *8*, 1538.
16. Sebranek, J.G.; Bacus, J.N. Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat Sci.* **2007**, *77*, 136–147.
17. King, A.M.; Glass, K.A.; Milkowski, A.L.; Sindelar, J.J. Comparison of the effect of curing ingredients derived from purified and natural sources on inhibition of *Clostridium perfringens* outgrowth during cooling of deli-style Turkey Breast. *J Food Prot.* **2015**, *78*, 1527–1535.
18. Hospital, X.F.; Hierro, E.; Fernández, M. Survival of *Listeria innocua* in dry fermented sausages and changes in the typical microbiota and volatile profile as affected by the concentration of nitrate and nitrite. *Int J Food Microbiol.* **2012**, *153*, 395–401.
19. Hospital, X.F.; Hierro, E.; Fernandez, M. Effect of reducing nitrate and nitrite added to dry fermented sausages on the survival of *Salmonella typhimurium*. *Food Res Int.* **2014**, *62*, 410-415.
20. Hospital, X.F.; Hierro, E.; Arnau, J.; Carballo, J.; Aguirre, J.S.; Gratacós-Cubarsí, M.; Fernández, M. Effect of nitrate and nitrite on *Listeria* and selected spoilage bacteria inoculated in dry-cured ham. *Food Res Int.* **2017**, *101*, 82–87.
21. Christieans, S.; Picgirard, L.; Parafita, E.; Lebert, A.; Gregori, T. Impact of reducing nitrate/nitrite levels on the behavior of *Salmonella Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* in French dry fermented sausages. *Meat Sci.* **2018**, *137*, 160.
22. Andrée, S.; Jira, W.; Schwind, K.H.; Wagner, H.; Schwägele, F. Chemical safety of meat and meat products. *Meat Sci.* **2010**, *86*, 38–48.
23. Pan, A.; Sun, Q.; Bernstein, A.M.; Schulze, M.B.; Manson, J.E.; Willett, W.C.; Hu, F.B. Red meat consumption and risk of type 2 diabetes: 3 cohorts of US adults and an updated meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* **2011**, *94*, 1088–1096.
24. Micha, R.; Wallace, S.K.; Mozaffarian, D. Red and processed meat consumption and risk of incident coronary heart disease, stroke, and diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Circulation* **2010**, *121*, 2271–2283.
25. Micha, R.; Michas, G.; Mozaffarian, D. Unprocessed red and processed meats and risk of coronary artery disease and type 2 diabetes—An updated review of the evidence. *Curr. Atheroscler. Rep.* **2012**, *14*, 515–524.

26. Steinbrecher, A.; Erber, E.; Grandinetti, A.; Kolonel, L.N.; Maskarinec, G. Meat consumption and risk of type 2 diabetes: The Multiethnic Cohort. *Public Health Nutr.* **2011**, *14*, 568–574.
27. Schwingshackl, L.; Hoffmann, G.; Lampousi, A.M.; Knüppel, S.; Iqbal, K.; Schwedhelm, C.; Bechthold, A.; Schlesinger, S.; Boeing, H. Food groups and risk of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Eur. J. Epidemiol.* **2017**, *32*, 363–375.
28. Zhang, R.; Fu, J.; Moore, J.B.; Stoner, L.; Li, R. Processed and Unprocessed Red Meat Consumption and Risk for Type 2 Diabetes Mellitus: An Updated Meta-Analysis of Cohort Studies. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 10788.
29. Abete, I.; Romaguera, D.; Vieira, A.R.; Lopez de Munain, A.; Norat, T. Association between total, processed, red and white meat consumption and all-cause, CVD and IHD mortality: A meta-analysis of cohort studies. *Br. J. Nutr.* **2014**, *112*, 762–775.
30. Yang, C.; Pan, L.; Sun, C.; Xi, Y.; Wang, L.; Li, D. Red Meat Consumption and the Risk of Stroke: A Dose-Response Meta-analysis of Prospective Cohort Studies. *J. Stroke Cerebrovasc. Dis.* **2016**, *25*, 1177–1186.
31. Kim, K.; Hyeon, J.; Lee, S.A.; Kwon, S.O.; Lee, H.; Keum, N.; Lee, J.K.; Park, S.M. Role of Total, Red, Processed, and White Meat Consumption in Stroke Incidence and Mortality: A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *J. Am. Heart Assoc.* **2017**, *6*, e005983.
32. Kaluza, J.; Wolk, A.; Larsson, S.C. Red meat consumption and risk of stroke: A meta-analysis of prospective studies. *Stroke* **2012**, *43*, 2556–2560.
33. Chen, G.C.; Lv, D.B.; Pang, Z.; Liu, Q.F. Red and processed meat consumption and risk of stroke: A meta-analysis of prospective cohort studies. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2013**, *67*, 91–95.
34. Keszei, A.P.; Schouten, L.J.; Goldbohm, R.A.; van den Brandt, P.A. Red and processed meat consumption and the risk of esophageal and gastric cancer subtypes in The Netherlands Cohort Study. *Ann. Oncol.* **2012**, *23*, 2319–2326.
35. Qu, X.; Ben, Q.; Jiang, Y. Consumption of red and processed meat and risk for esophageal squamous cell carcinoma based on a meta-analysis. *Ann. Epidemiol.* **2013**, *23*, 762–770.
36. Kim, S.R.; Kim, K.; Lee, S.A.; Kwon, S.O.; Lee, J.K.; Keum, N.; Park, S.M. Effect of Red, Processed, and White Meat Consumption on the Risk of Gastric Cancer: An Overall and Dose-Response Meta-Analysis. *Nutrients* **2019**, *11*, 826.

37. Cross, A.J.; Leitzmann, M.F.; Gail, M.H.; Hollenbeck, A.R.; Schatzkin, A.; Sinha, R. A prospective study of red and processed meat intake in relation to cancer risk. *PLoS Med.* **2007**, *4*, e325.
38. Chan, D.S.; Lau, R.; Aune, D.; Vieira, R.; Greenwood, D.C.; Kampman, E.; Norat, T. Red and processed meat and colorectal cancer incidence: Meta-analysis of prospective studies. *PLoS ONE* **2011**, *6*, e20456.
39. IARC. *Estimates of the Cancer Incidence and Mortality in 2018, and Projections for the Next 20 Years*; IARC Press: Lyon, France, 2018; Volume 263. Online: https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr240_E.pdf (dostęp: 18.03.2023).
40. Larsson, S.C.; Wolk, A. Red and processed meat consumption and risk of pancreatic cancer: Meta-analysis of prospective studies. *Br. J. Cancer* **2012**, *106*, 603–607.
41. Guo, J.; Wei, W.; Zhan, L. Red and processed meat intake and risk of breast cancer: A meta-analysis of prospective studies. *Breast Cancer Res. Treat.* **2015**, *151*, 191–198.
42. Inoue-Choi, M.; Sinha, R.; Gierach, G.L.; Ward, M.H. Red and processed meat, nitrite, and heme iron intakes and postmenopausal breast cancer risk in the NIH-AARP Diet and Health Study. *Int. J. Cancer* **2016**, *138*, 1609–1618.
43. Farvid, M.S.; Stern, M.C.; Norat, T.; Sasazuki, S.; Vineis, P.; Weijenberg, M.P.; Wolk, A.; Wu, K.; Stewart, B.W.; Cho, E. Consumption of red and processed meat and breast cancer incidence: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Int. J. Cancer* **2018**, *143*, 2787–2799.
44. Anderson, J.J.; Darwis, N.D.M.; Mackay, D.F.; Celis-Morales, C.A.; Lyall, D.M.; Sattar, N.; Gill, J.M.R.; Pell, J.P. Red and processed meat consumption and breast cancer: UK Biobank cohort study and meta-analysis. *Eur. J. Cancer* **2018**, *90*, 73–82.
45. Zhong, V.W.; Van Horn, L.; Greenland, P.; Carnethon, M.R.; Ning, H.; Wilkins, J.T.; Lloyd-Jones, D.M.; Allen, N.B. Associations of Processed Meat, Unprocessed Red Meat, Poultry, or Fish Intake With Incident Cardiovascular Disease and All-Cause Mortality. *JAMA Intern. Med.* **2020**, *180*, 503–512.
46. Wang, X.; Lin, X.; Ouyang, Y.Y.; Liu, J.; Zhao, G.; Pan, A.; Hu, F.B. Red and processed meat consumption and mortality: Dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Public Health Nutr.* **2016**, *19*, 893–905.
47. Pan, A.; Sun, Q.; Bernstein, A.M.; Schulze, M.B.; Manson, J.E.; Stampfer, M.J.; Willett, W.C.; Hu, F.B. Red meat consumption and mortality: Results from 2 prospective cohort studies. *Arch. Intern. Med.* **2012**, *172*, 555–563.

48. Rohrmann, S.; Overvad, K.; Bueno-de-Mesquita, H.B.; Jakobsen, M.U.; Egeberg, R.; Tjønneland, A.; Nailler, L.; Boutron-Ruault, M.C.; Clavel-Chapelon, F.; Krogh, V.; et al. Meat consumption and mortality-results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. *BMC Med.* **2013**, *11*, 63.
49. WHO. Salt Reduction. Online: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/salt-reduction> (dostęp: 10.03.2023).
50. WHO. *Global Status Report on Noncommunicable Diseases 2014*; WHO: Geneva, Switzerland, **2014**, 1–302.
51. WHO. *Report of the Commission on Ending Childhood Obesity*; WHO: Geneva, Switzerland, **2016**, 1–68.
52. WHO. *Guiding Principles and Framework Manual for Front-of-Pack Labelling for Promoting Healthy Diet*; WHO: Geneva, Switzerland, **2018**, 1–46.
53. Kanter, R.; Vanderlee, L.; Vandevijvere, S. Front-of-package nutrition labelling policy: Global progress and future directions. *Public Health Nutr.* **2018**, *21*, 1399–1408.
54. EC. *Report from the Commission to the European Parliament and the Council Regarding the Use of Additional Forms of Expression and Presentation of the Nutrition Declaration. COM (2020) 207 Final*; EC: Brussels, Belgium, **2020**, 1–27.
55. Eurofins. Nutri-Score. Online: <https://www.eurofins.de/food-analysis/food-news/food-testing-news/Nutri-Score/> (dostęp: 18.03.23).
56. Swiss Federal Food Safety and Veterinary Office. Nutri-Score. Online: <https://www.blv.admin.ch/Nutri-Score> (dostęp: 19.03.2023).
57. AGCM. Bollettino 29/2022. Online: <https://www.agcm.it/pubblicazioni/bollettino-settimanale/2022/29/Bollettino-29-2022> (dostęp: 19.03.2023).
58. Food Navigator. Romania Prepares for Nutri-Score Ban: A Regrettable Decision for Some. Online: <https://www.foodnavigator.com/Article/2023/04/26/romania-prepares-for-Nutri-Score-ban-a-regrettable-decision-for-some> (dostęp: 29.04.2023).
59. MF. Dane z Zeznań Podatkowych Podatników, o Których Mowa w art. 27b Ustawy z dnia 15 Lutego 1992 r. o Podatku Dochodowym od osób Prawnych (Dz. U. z 2017 r., poz. 2343, ze zm.) oraz w Ustawie z 24 Listopada 2017 r. o Zmianie Ustawy o Podatku Dochodowym od Osób Prawnych (Dz. U. poz. 2369). Online: <https://gov.pl> (dostęp: 16.06.2019).
60. PKN. *Polska Norma PN-A-82007*; PKN Warszawa, Polska: **1996**, 1–12.
61. Salvador Castell, G.; Serra-Majem, L.; Ribas-Barba, L. What and how much do we eat? 24-hour dietary recall method. *Nutr Hosp.* **2015**, *31*, 46–48.

62. Löwik, M.R. Possible use of food consumption surveys to estimate exposure to additives. *Food Addit Contam.* **1996**, *13*, 427–441.
63. Michalski, M.M. Residues of nitrites and nitrates in selected meat products examined in veterinary laboratories within the framework of sanitary-hygiene supervision in the year 1995. *Bull Vet Inst Pulawy* **1996**, *40*, 117-120.
64. Michalski, M.M. Zawartość azotynów i azotanów w wybranych produktach drobiowych w 1993 roku. *Gosp Miesna* **1996**, *48*, 52-53.
65. Michalski, M.M. Residues of nitrites and nitrates in selected meat products examined in Poland within the framework of sanitary-hygiene supervision in 1996. *Bull Vet Inst Pulawy* **1997**, *41*, 127-130.
66. Michalski, M.M. Pozostałości azotanów i azotynów w kiełbasach wyprodukowanych w Polsce w 1995 roku. *Gosp Miesna* **1997**, *49*, 52-53.
67. Michalski, M.M. Zawartość azotynów oraz azotanów w wybranych produktach mięsnych w 1994 r. *Przem Spoż.* **1997**, *51*, 36-37.
68. Michalski, M.M. Zawartość azotynów i azotanów w kiełbasach parzonych. *Med Weter.* **1998**, *54*, 421-423.
69. Skrajnowska, D.; Pokorska-Lis, G.; Olędzka, R. The contents of nitrates (III) and (V). added polyphosphates and total levels of phosphorus. calcium. magnesium. iron and zinc in some cured meat products. *Rocz Panstw Zakl Hig.* **2004**, *55*, 287-95.
70. EFSA. Panel on Contaminants in the Food Chain(CONTAM). Scientific Opinion on Nitrate in vegetables. *EFSA J.* **2008**, *689*, 1–79.
71. Public Health France. Nutri-Score Frequently Asked Question. Online: <https://www.santepubliquefrance.fr/media/files/02-determinants-de-sante/nutrition-et-activite-physique/Nutri-Score/qr-scientifique-technique-en> (dostęp: 18.05.2020).
72. Scientific Committee of the Nutri-Score. Update of the Nutri-Score Algorithm. Online: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/Nutri_Score/2022_main_algorithm_report_update_FINAL.pdf (dostęp: 24.02.2023).
73. WHO. *Salt Reduction and Iodine Fortification Strategies in Public Health: Report of a Joint Technical Meeting Convened by the World Health Organization and the George Institute for Global Health in Collaboration with the International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders Global Network, Sydney, Australia, March 2013*; WHO: Geneva, Switzerland, **2014**, 1–36.
74. Halagarda, M.; Wójciak, K.M. Health and safety aspects of traditional European meat products. A review. *Meat Sci.* **2022**, *184*, 108623.

75. Halagarda, M.; Kędzior, W.; Pyrżyńska, E. Nutritional Value and Potential Chemical Food Safety Hazards of Selected Traditional and Conventional Pork Hams from Poland. *J. Food Qual.* **2017**, *2017*, 1–10.
76. Halagarda, M.; Kędzior, W.; Pyrżyńska, E. Nutritional value and potential chemical food safety hazards of selected Polish sausages as influenced by their traditionality. *Meat Sci.* **2018**, *139*, 25–34.
77. Crehan, C.M.; Hughes, E.; Troy, D.J.; Buckley, D.J. Effects of fat level and maltodextrin on the functional properties of frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. *Meat Sci.* **2000**, *55*, 463–469.
78. Hughes, E.; Cofrades, S.; Troy, D.J. Effects of fat level, oat fibre and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. *Meat Sci.* **1997**, *45*, 273–281.
79. Youssef, M.K.; Barbut, S. Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters. *Meat Sci.* **2009**, *82*, 228–233.
80. Sariçoban, C.; Yılmaz, M.T. Modelling the Effects of Processing Factors on the Changes in Colour Parameters of Cooked Meatballs Using Response Surface Methodology. *World Appl. Sci. J.* **2010**, *9*, 14–22.
81. Słowiński, M.; Miazek, J.; Dasiewicz, K.; Chmiel, M. The Effect of the Addition of Fiber Preparations on the Color of Medium-Grounded Pasteurized and Sterilized Model Canned Meat Products. *Molecules* **2021**, *26*, 2247.
82. Babji, A.S.; Nuri, M.N.; Suherman, J.; Seri Chempaka, M.Y. Quality assessment of local and franchise beef and chicken burgers. *Pertanika J. Trop. Agric.* **2000**, *23*, 103–112.
83. Downham, A.; Collins, P. Colouring our foods in the last and next millennium. *Int. J. Food Sci.* **2000**, *35*, 5–22.
84. Wideman, N.; O'bryan, C.A.; Crandall, P.G. Factors affecting poultry meat colour and consumer preferences-A review. *Worlds Poult. Sci. J.* **2016**, *72*, 353–366.
85. EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). Scientific Opinion on the re-evaluation of cochineal, carminic acid, carmines (E120) as a food additive. *EFSA J.* **2015**, *13*, 4288.
86. Scientific Opinion. On the safety of annatto extracts (E 160b) as a food additive. In: EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). *EFSA J.* **2016**, *14*, 4544.
87. Scientific Opinion. On the re-evaluation of paprika extract (E160c) as a food additive. In: EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). *EFSA J.* **2017**, *13*, 4320.

88. Sadowska-Bartosz, I.; Bartosz, G. Biological Properties and Applications of Betalains. *Molecules* **2021**, *26*, 2520.
89. Scientific Opinion. On the re-evaluation of beetroot red (E 162) as a food additive. In: EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). *EFSA J.* **2015**, *13*, 4318.
90. Khan, M.I. Plant Betalains: Safety, Antioxidant Activity, Clinical Efficacy, and Bioavailability. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **2016**, *15*, 316–330.
91. Lechner, J.F.; Stoner, G.D. Red Beetroot and Betalains as Cancer Chemopreventative Agents. *Molecules* **2019**, *24*, 1602.
92. Clifford, T.; Howatson, G.; West, D.J.; Stevenson, E.J. The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients* **2015**, *7*, 2801–2822.
93. Esatbeyoglu, T.; Wagner, A.E.; Schini-Kerth, V.B.; Rimbach, G. Betanin—A food colorant with biological activity. *Mol. Nutr. Food Res.* **2015**, *59*, 36–47.
94. Li, Q.; Xu, Q.; Tan, J.; Hu, L.; Ge, C.; Xu, M. Carminic acid supplementation protects against fructose-induced kidney injury mainly through suppressing inflammation and oxidative stress via improving Nrf-2 signaling. *Aging* **2021**, *13*, 10326–10353.
95. Bázan-Lugo, E.; García-Martínez, I.; Alfaro-Rodríguez, R.H.; Totosaus, A. Color compensation in nitrite-reduced meat batters incorporating paprika or tomato paste. *J. Sci. Food Agric.* **2012**, *92*, 1627–1632.
96. Kim, G.H.; Chin, K.B. Characteristics of low-nitrite pork emulsified-sausages with paprika oleoresin solution during refrigerated storage. *J. Anim. Sci. Technol.* **2021**, *63*, 394–404.
97. Vieira Teixeira da Silva, D.; Dos Santos Baião, D.; de Oliveira Silva, F.; Alves, G.; Perrone, D.; Mere Del Aguila, E.; Paschoalin, V.M.F. Betanin, a Natural Food Additive: Stability, Bioavailability, Antioxidant and Preservative Ability Assessments. *Molecules* **2019**, *24*, 458.
98. Zarringhalami, S.; Sahari, M.A.; Hamidi-Esfehani, Z. Partial replacement of nitrite by annatto as a colour additive in sausage. *Meat Sci.* **2009**, *81*, 281–284.
99. Lucas, C.D.; Hallagan, J.B.; Taylor, S.L. The role of natural color additives in food allergy. *Adv. Food Nutr. Res.* **2001**, *43*, 195–216.
100. Andreozzi, L.; Giannetti, A.; Cipriani, F.; Caffarelli, C.; Mastroilli, C.; Ricci, G. Hypersensitivity reactions to food and drug additives: Problem or myth? *Acta Biomed.* **2019**, *90*, 80–90.
101. Lemoine, A.; Pauliat-Desbordes, S.; Challier, P.; Tounian, P. Adverse reactions to food additives in children: A retrospective study and a prospective survey. *Arch. Pediatr.* **2020**, *27*, 368–371.

102. Chung, K.; Baker, J.R., Jr.; Baldwin, J.L.; Chou, A. Identification of carmine allergens among three carmine allergy patients. *Allergy* **2001**, *56*, 73–77.
103. Greenhawt, M.J.; Baldwin, J.L. Carmine dye and cochineal extract: Hidden allergens no more. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* **2009**, *103*, 73–75.
104. Takeo, N.; Nakamura, M.; Nakayama, S.; Okamoto, O.; Sugimoto, N.; Sugiura, S.; Sato, N.; Harada, S.; Yamaguchi, M.; Mitsui, N.; et al. Cochineal dye-induced immediate allergy: Review of Japanese cases and proposed new diagnostic chart. *Allergol. Int.* **2018**, *67*, 496–505.
105. Yamakawa, Y.; Oosuna, H.; Yamakawa, T.; Aihara, M.; Ikezawa, Z. Cochineal extract-induced immediate allergy. *J. Dermatol.* **2009**, *36*, 72–74.
106. Myles, I.A.; Beakes, D. An Allergy to Goldfish? Highlighting the Labeling Laws for Food Additives. *World Allergy Organ. J.* **2009**, *2*, 314–316.
107. Ramsey, N.B.; Tuano, K.T.; Davis, C.M.; Dillard, K.; Hanson, C. Annatto seed hypersensitivity in a pediatric patient. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* **2016**, *117*, 331–333.
108. Sadowska, B.; Sztormowska, M.; Chełmińska, M. Annatto hypersensitivity after oral ingestion confirmed by placebo-controlled oral challenge. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* **2021**, *127*, 510–511.
109. Ebo, D.G.; Ingelbrecht, S.; Bridts, C.H.; Stevens, W.J. Allergy for cheese: Evidence for an IgE-mediated reaction from the natural dye annatto. *Allergy* **2009**, *64*, 1558–1560.
110. Randhawa, S.; Bahna, S.L. Hypersensitivity reactions to food additives. *Curr. Opin. Allergy Clin. Immunol.* **2009**, *9*, 278–283.
111. Stein, H.L. Annatto and IBS. *J. Clin. Gastroenterol.* **2009**, *43*, 1014–1015.
112. Sengar, G.; Sharma, H.K. Food caramels: A review. *J. Food Sci. Technol.* **2014**, *51*, 1686–1696.
113. Vollmuth, T.A. Caramel color safety—An update. *Food Chem. Toxicol.* **2018**, *111*, 578–596.
114. Houben, G.F.; Abma, P.M.; van den Berg, H.; van Dokkum, W.; van Loveren, H.; Penninks, A.H.; Seinen, W.; Spanhaak, S.; Vos, J.G.; Ockhuizen, T. Effects of the colour additive caramel colour III on the immune system: A study with human volunteers. *Food Chem. Toxicol.* **1992**, *30*, 749–757.
115. Jacobson, M.F. Carcinogenicity and regulation of caramel colorings. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* **2012**, *18*, 254–259.
116. Biró, G.; Hulshof, K.F.; Ovesen, L.; Amorim Cruz, J.A. EFCOSUM Group. Selection of methodology to assess food intake. *Eur J Clin Nutr.* **2002**, *56*, 25–32.

117. De Keyzer, W.; Huybrechts, I.; De Vriendt, V.; Vandevijvere, S.; Slimani, N.; Van Oyen, H.; De Henauw, S. Repeated 24-hour recalls versus dietary records for estimating nutrient intakes in a national food consumption survey. *J Food Nutr.* **2011**, *55*.
118. Temme, E.H.; Vandevijvere, S.; Vinkx, C.; Huybrechts, I.; Goeyens, L.; Van Oyen, H. Average daily nitrate and nitrite intake in the Belgian population older than 15 years. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* **2011**, *28*, 1193–1204.
119. Szczebyło, A.; Halicka, E.; Rejman, K.; Kaczorowska, J. Is eating less meat possible? Exploring the willingness to reduce meat consumption among millennials working in polish cities. *Foods* **2022**, *11*, 358.
120. Lee, H.S. Exposure estimates of nitrite and nitrate from consumption of cured meat products by the U.S. population. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* **2018**, *35*, 29–39.
121. Milešević, J.; Vranić, D.; Gurinović, M.; Korićanac, V.; Borović, B.; Zeković, M.; Šarac, I.; Milićević, D.R.; Glibetić, M. The intake of phosphorus and nitrites through meat mproducts: a health risk assessment of children aged 1 to 9 years old in Serbia. *Nutrients* **2022**, *14*, 242.
122. Larsson, K.; Darnerud, P.O.; Ilbäck, N.G.; Merino, L. Estimated dietary intake of nitrite and nitrate in Swedish children. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* **2011**, *28*, 659–666.
123. Leth, T.; Fagt, S.; Nielsen, S.; Andersen, R. Nitrite and nitrate content in meat products and estimated intake in Denmark from 1998 to 2006. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* **2008**, *25*, 1237–1245.
124. Reinik, M.; Tamme, T.; Roasto, M.; Juhkam, K.; Jurtsenko, S.; Tenno, 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.
125. Elias, A.; Jalakas, S.; Roasto, M.; Reinik, M.; Nurk, E.; Kaart, T.; Tuvike, A.; Meremäe, 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 Expo Risk Assess.* **2020**, *37*, 1229–1237.
126. Thomson, B.M.; Nokes, C.J.; Cressey, P.J. Intake and risk assessment of nitrate and nitrite from New Zealand foods and drinking water. *Food Addit Contam.* **2007**, *242*, 113–121.
127. Chetty, A.A.; Prasad, S.; Pinho, O.C.; de Morais, C.M. Estimated dietary intake of nitrate and nitrite from meat consumed in Fiji. *Food Chem.* **2019**, *278*, 630–635.

128. Menard, C.; Heraud, F.; Volatier, J.L.; Leblanc, J.C. Assessment of dietary exposure of nitrate and nitrite in France. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* **2008**, *25*, 971–988.
129. Anyżewska, A.; Wawrzyniak, A. Evaluating adult dietary intakes of nitrate and nitrite in Polish households during 2006-2012. *Rocz Panstw Zakl Hig.* **2014**, *65*, 107–111.
130. Suomi, J.; Ranta, J.; Tuominen, P.; Putkonen, T.; Bäckman, C.; Ovaskainen, M.L.; Virtanen, S.M.; Savela, K. Quantitative risk assessment on the dietary exposure of Finnish children and adults to nitrite. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* **2016**, *33*, 41-53.
131. Mortensen, A.; Aguilar, F.; Crebelli, R.; Di Domenico, A.; Dusemund, B.; Frutos, M.J.; Galtier, P.; Gott, D.; Gundert-Remy, U.; Lambré, C.; et al. EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS) on Re-evaluation of potassium nitrite (E 249) and sodium nitrite (E 250) as food additives. *EFSA J.* **2017**, *15*, e04786.
132. Lee, D.Y.; Lee, S.Y.; Jo, C.; Yoon, Y.; Jeong, J.Y.; Hur, S.J. Effect on health from consumption of meat and meat products. *J Anim Sci Technol.* **2021**, *63*, 955–976.
133. Younes, M.; Aquilina, G.; Castle, L.; Engel, K.H.; Fowler, P.; Frutos Fernandez, M.J.; Fürst, P.; Gürtler, R.; Husøy, T.; Mennes, W.; et al. EFSA Panel on Food Additives and Flavourings (FAF). Re-evaluation of phosphoric acid-phosphates - di-, tri- and polyphosphates (E 338-341, E 343, E 450-452) as food additives and the safety of proposed extension of use. *EFSA J.* **2019**, *17*, e05674.
134. EFSA. Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). Scientific Opinion on the re-evaluation of erythorbic acid (E 315) and sodium erythorbate (E 316) as food additives. *EFSA J.* **2016**, *14*, 4360.
135. Leclercq, C.; Arcella, D.; Turrini, A. Estimates of the theoretical maximum daily intake of erythorbic acid, gallates, butylated hydroxyanisole (BHA) and butylated hydroxytoluene (BHT) in Italy: a stepwise approach. *Food Chem Toxicol.* **2000**, *38*, 1075–1084.
136. Franco-Arellano, B.; Vanderlee, L.; Ahmed, M.; Oh, A.; L'Abbé, M. Influence of front-of-pack labelling and regulated nutrition claims on consumers' perceptions of product healthfulness and purchase intentions: A randomized controlled trial. *Appetite* **2020**, *149*, 104629.
137. Egnell, M.; Ducrot, P.; Touvier, M.; Allès, B.; Hercberg, S.; Kesse-Guyot, E.; Julia, C. Objective understanding of Nutri-Score Front-Of-Package nutrition label according to individual characteristics of subjects: Comparisons with other format labels. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0202095.

138. Hersey, J.C.; Wohlgenant, K.C.; Arsenault, J.E.; Kosa, K.M.; Muth, M.K. Effects of front-of-package and shelf nutrition labeling systems on consumers. *Nutr Rev.* **2013**, *71*, 1–14.
139. Grummon, A.H.; Musicus, A.A.; Moran, A.J.; Salvia, M.G.; Rimm, E.B. Consumer Reactions to Positive and Negative Front-of-Package Food Labels. *Am. J. Prev. Med.* **2023**, *64*, 86–95.
140. Andreeva, V.A.; Egnell, M.; Stoś, K.; Przygoda, B.; Talati, Z.; Touvier, M.; Galan, P.; Hercberg, S.; Pettigrew, S.; Julia, C. Polish Consumers' Understanding of Different Front-of-Package Food Labels: A Randomized Experiment. *Foods* **2022**, *11*, 134.
141. Egnell, M.; Talati, Z.; Hercberg, S.; Pettigrew, S.; Julia, C. Objective Understanding of Front-of-Package Nutrition Labels: An International Comparative Experimental Study across 12 Countries. *Nutrients* **2018**, *10*, 1542.
142. Egnell, M.; Talati, Z.; Gombaud, M.; Galan, P.; Hercberg, S.; Pettigrew, S.; Julia, C. Consumers' Responses to Front-of-Pack Nutrition Labelling: Results from a Sample from The Netherlands. *Nutrients* **2019**, *11*, 1817.
143. Egnell, M.; Talati, Z.; Pettigrew, S.; Galan, P.; Hercberg, S.; Julia, C. Comparison of front-of-pack labels to help German consumers understand the nutritional quality of food products. *Ernähr. Umsch.* **2019**, *66*, 76–84.
144. Egnell, M.; Galan, P.; Farpour-Lambert, N.J.; Talati, Z.; Pettigrew, S.; Hercberg, S.; Julia, C. Compared to other front-of-pack nutrition labels, the Nutri-Score emerged as the most efficient to inform Swiss consumers on the nutritional quality of food products. *PLoS ONE* **2020**, *15*, e0228179.
145. Fialon, M.; Babio, N.; Salas-Salvadó, J.; Galan, P.; Kesse-Guyot, E.; Touvier, M.; Deschasaux-Tanguy, M.; Sarda, B.; Hercberg, S.; Khoury, N.; et al. Comparative understanding and preference of Nutri-Score and NutrInform Battery in a sample of Spanish consumers. *Eur. J. Public Health* **2023**, *33*, 293–298.
146. Goiana-da-Silva, F.; Cruz-E-Silva, D.; Nobre-da-Costa, C.; Nunes, A.M.; Fialon, M.; Egnell, M.; Galan, P.; Julia, C.; Talati, Z.; Pettigrew, S.; et al. Nutri-Score: The Most Efficient Front-of-Pack Nutrition Label to Inform Portuguese Consumers on the Nutritional Quality of Foods and Help Them Identify Healthier Options in Purchasing Situations. *Nutrients* **2021**, *13*, 4335.
147. Kontopoulou, L.; Karpetas, G.; Fradelos, E.C.; Papathanasiou, I.V.; Malli, F.; Papagiannis, D.; Mantzaris, D.; Fialon, M.; Julia, C.; Gourgoulidis, K.I. Online Consumer Survey Comparing Different Front-of-Pack Labels in Greece. *Nutrients* **2021**, *14*, 46.

148. Vandevijvere, S.; Vermote, M.; Egnell, M.; Galan, P.; Talati, Z.; Pettigrew, S.; Hercberg, S.; Julia, C. Consumers' food choices, understanding and perceptions in response to different front-of-pack nutrition labelling systems in Belgium: Results from an online experimental study. *Arch. Public Health* **2020**, *78*, 30.
149. Ducrot, P.; Méjean, C.; Julia, C.; Kesse-Guyot, E.; Touvier, M.; Fezeu, L.K.; Hercberg, S.; Péneau, S. Objective Understanding of Front-of-Package Nutrition Labels among Nutritionally At-Risk Individuals. *Nutrients* **2015**, *7*, 7106–7125.
150. Egnell, M.; Crosetto, P.; d'Almeida, T.; Kesse-Guyot, E.; Touvier, M.; Ruffieux, B.; Hercberg, S.; Muller, L.; Julia, C. Modelling the impact of different front-of-package nutrition labels on mortality from non-communicable chronic disease. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* **2019**, *16*, 56.
151. Egnell, M.; Boutron, I.; Péneau, S.; Ducrot, P.; Touvier, M.; Galan, P.; Fezeu, L.; Porcher, R.; Ravaud, P.; Hercberg, S.; et al. Impact of the Nutri-Score front-of-pack nutrition label on purchasing intentions of individuals with chronic diseases: Results of a randomised trial. *BMJ Open* **2022**, *12*, e058139.
152. Carruba, M.O.; Caretto, A.; De Lorenzo, A.; Fatati, G.; Ghiselli, A.; Lucchin, L.; Maffei, C.; Malavazos, A.; Malfi, G.; Riva, E.; et al. Front-of-pack (FOP) labelling systems to improve the quality of nutrition information to prevent obesity: NutrInform Battery vs Nutri-Score. *Eat Weight Disord.* **2022**, *27*, 1575–1584.
153. Martini, D.; Marangoni, F.; Banterle, A.; Donini, L.M.; Riccardi, G.; Poli, A.; Pellegrini, N. Relationship between front-of-pack labeling and nutritional characteristics of food products: An attempt of an analytical approach. *Front. Nutr.* **2022**, *9*, 963592.
154. Julia, C.; Ducrot, P.; Lassale, C.; Fézeu, L.; Méjean, C.; Péneau, S.; Touvier, M.; Hercberg, S.; Kesse-Guyot, E. Prospective associations between a dietary index based on the British Food Standard Agency nutrient profiling system and 13-year weight gain in the SU.VI.MAX cohort. *Prev. Med.* **2015**, *81*, 189–194.
155. Hawley, K.L.; Roberto, C.A.; Bragg, M.A.; Liu, P.J.; Schwartz, M.B.; Brownell, K.D. The science on front-of-package food labels. *Public Health Nutr.* **2013**, *16*, 430–439.
156. Ning, S.X.; Mainvil, L.A.; Thomson, R.K.; McLean, R.M. Dietary sodium reduction in New Zealand: Influence of the Tick label. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* **2017**, *26*, 1133–1138.
157. NCEZ. Talerz zdrowego żywienia. Online: <https://ncez.pzh.gov.pl/abc-zywienia-/zasady-zdrowego-zywienia/talerz-zdrowego-zywienia/> (dostęp: 13.03.2023).

158. EC. Food-Based Dietary Guidelines for Europe. Online: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/health-promotion-knowledge-gateway/food-based-dietary-guidelines-europe-table-8_en (dostęp: 18.03.2023).
159. Dréano-Trécant, L.; Egnell, M.; Hercberg, S.; Galan, P.; Soudon, J.; Fialon, M.; Touvier, M.; Kesse-Guyot, E.; Julia, C. Performance of the Front-of-Pack Nutrition Label Nutri-Score to Discriminate the Nutritional Quality of Foods Products: A Comparative Study across 8 European Countries. *Nutrients* **2020**, *12*, 1303.
160. Szabo de Edelenyi, F.; Egnell, M.; Galan, P.; Druesne-Pecollo, N.; Hercberg, S.; Julia, C. Ability of the Nutri-Score front-of-pack nutrition label to discriminate the nutritional quality of foods in the German food market and consistency with nutritional recommendations. *Arch. Public Health* **2019**, *77*, 28.
161. Hendriksen, M.A.; van Raaij, J.M.; Geleijnse, J.M.; Breda, J.; Boshuizen, H.C. Health gain by salt reduction in europe: A modelling study. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0118873.
162. Verma, A.K.; Banerjee, R. Low-sodium meat products: Retaining salty taste for sweet health. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2012**, *52*, 72–84.
163. Barcenilla, C.; Álvarez-Ordóñez, A.; López, M.; Alvseike, O.; Prieto, M. Microbiological Safety and Shelf-Life of Low-Salt Meat Products-A Review. *Foods* **2022**, *11*, 2331.
164. Rust, P.; Ekmekcioglu, C. Impact of Salt Intake on the Pathogenesis and Treatment of Hypertension. *Adv. Exp. Med. Biol.* **2017**, *956*, 61–84.
165. Strazzullo, P.; D'Elia, L.; Kandala, N.B.; Cappuccio, F.P. Salt intake, stroke, and cardiovascular disease: Meta-analysis of prospective studies. *Br. Med. J.* **2009**, *339*, b4567.
166. O'Donnell, M.; Mente, A.; Yusuf, S. Sodium intake and cardiovascular health. *Circ. Res.* **2015**, *116*, 1046–1057.
167. WHO. Fat Intake. Online: <https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/imr-details/3418> (dostęp: 10.03.2023).
168. Pietrasik, Z.; Soladoye, O.P. Functionality and consumer acceptability of low-fat breakfast sausages processed with non-meat ingredients of pulse derivatives. *J. Sci. Food Agric.* **2021**, *101*, 4464–4472.
169. Ren, Y.; Huang, L.; Zhang, Y.; Li, H.; Zhao, D.; Cao, J.; Liu, X. Application of Emulsion Gels as Fat Substitutes in Meat Products. *Foods* **2022**, *11*, 1950.
170. Liem, D.G.; Miremadi, F.; Keast, R.S. Reducing sodium in foods: The effect on flavor. *Nutrients* **2011**, *3*, 694–711.
171. Ruusunen, M.; Puolanne, E. Sodium in Meat Products. In Proceedings of the 50th International Congress of Meat Science and Technology, Helsinki, Finland, **2004**, 8–13.

172. Nurmilah, S.; Cahyana, Y.; Utama, G.L.; Aït-Kaddour, A. Strategies to Reduce Salt Content and Its Effect on Food Characteristics and Acceptance: A Review. *Foods* **2022**, *11*, 3120.
173. Sleator, R.D.; Hill, C. Food reformulations for improved health: A potential risk for microbial food safety? *Med. Hypotheses* **2007**, *69*, 1323–1324.
174. Fraqueza, M.J.; Laranjo, M.; Elias, M.; Patarata, L. Microbiological hazards associated with salt and nitrite reduction in cured meat products: Control strategies based on antimicrobial effect of natural ingredients and protective microbiota. *Curr. Opin. Food Sci.* **2021**, *38*, 32–39.
175. Muzayyanah, M.A.U.; Triatmojo, A.; Guntoro, B. The consumer preferences for processed meat products based on choice brand priorities. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2022**, *1001*, 012024.
176. Delgado-Pando, G.; Fischer, E.; Allen, P.; Kerry, J.P.; O’Sullivan, M.G.; Hamill, R.M. Salt content and minimum acceptable levels in whole-muscle cured meat products. *Meat Sci.* **2018**, *139*, 179–186.
177. Vidal, V.A.S.; Lorenzo, J.M.; Munekata, P.E.S.; Pollonio, M.A.R. Challenges to reduce or replace NaCl by chloride salts in meat products made from whole pieces—A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2021**, *61*, 2194–2206.
178. Desmond, E. Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat Sci.* **2006**, *74*, 188–196.
179. Aliño, M.; Grau, R.; Toldrá, F.; Blesa, E.; Pagán, M.J.; Barat, J.M. Influence of sodium replacement on physicochemical properties of dry-cured loin. *Meat Sci.* **2009**, *83*, 423–430.
180. Vidal, V.A.S.; Biachi, J.P.; Paglarini, C.S.; Pinton, M.B.; Campagnol, P.C.B.; Esmerino, E.A.; da Cruz, A.G.; Morgano, M.A.; Pollonio, M.A.R. Reducing 50% sodium chloride in healthier jerked beef: An efficient design to ensure suitable stability, technological and sensory properties. *Meat Sci.* **2019**, *152*, 49–57.
181. Nachtigall, F.M.; Vidal, V.A.S.; Pyarasani, R.D.; Domínguez, R.; Lorenzo, J.M.; Pollonio, M.A.R.; Santos, L.S. Substitution effects of NaCl by KCl and CaCl₂ on Lipolysis of Salted Meat. *Foods* **2019**, *8*, 595.
182. Fellendorf, S.; Kerry, J.P.; Hamill, R.M.; O’Sullivan, M.G. Impact on the physicochemical and sensory properties of salt reduced corned beef formulated with and without the use of salt replacers. *LWT* **2018**, *92*, 584–592.
183. Domínguez, R.; Munekata, P.E.; Cittadini, A.; Lorenzo, J.M. Effect of the partial NaCl substitution by other chloride salts on the volatile profile during the ripening of dry-cured lacón. *Grasas Aceites* **2016**, *67*, 128.

184. Devlieghere, F.; Vermeiren, L.; Bontenbal, E.; Lamers, P.P.; Debevere, J. Reducing salt intake from meat products by combined use of lactate and diacetate salts without affecting microbial stability. *Int. J. Food Sci. Technol.* **2009**, *44*, 337–341.
185. Kim, T.K.; Yong, H.I.; Jung, S.; Kim, H.W.; Choi, Y.S. Effect of reducing sodium chloride based on the sensory properties of meat products and the improvement strategies employed: A review. *J. Anim. Sci. Technol.* **2021**, *63*, 725–739.
186. Kloss, L.; Meyer, J.D.; Graeve, L.; Vetter, W. Sodium intake and its reduction by food reformulation in the European Union—A review. *NFS J.* **2015**, *1*, 9–19.
187. Vidal, V.A.S.; Santana, J.B.; Paglarini, C.S.; da Silva, M.A.A.P.; Freitas, M.Q.; Esmerino, E.A.; Cruz, A.G.; Pollonio, M.A.R. Adding lysine and yeast extract improves sensory properties of low sodium salted meat. *Meat Sci.* **2020**, *159*, 107911.
188. Honikel, K.O. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Sci.* **2008**, *78*, 68–76.

8. Załączniki:

Article

Dyes Used in Processed Meat Products in the Polish Market, and Their Possible Risks and Benefits for Consumer Health

Katarzyna Czech-Zalubska ¹, Daniel Klich ², Agnieszka Jackowska-Tracz ¹, Anna Didkowska ^{1,*}, Janusz Bogdan ¹ and Krzysztof Anusz ¹

¹ Department of Food Hygiene and Public Health Protection, Institute of Veterinary Medicine, Warsaw University of Life Sciences (SGGW), Nowoursynowska 166, 02-787 Warsaw, Poland; katarzyna_czech_zalubska@sggw.edu.pl (K.C.-Z.); agnieszka_jackowska_tracz@sggw.edu.pl (A.J.-T.); janusz_bogdan@sggw.edu.pl (J.B.); krzysztof_anusz@sggw.edu.pl (K.A.)

² Institute of Animal Sciences, University of Life Sciences—SGGW, Ciszewskiego 8, 02-786 Warsaw, Poland; daniel_klich@sggw.edu.pl

* Correspondence: anna.didkowska@sggw.edu.pl

Abstract: Manufacturers are obliged to label processed meat products with information concerning the additives used and nutritional values. The aim of the study was to identify the dyes most frequently used in processed meat, evaluate their influence on specific food qualities, assess whether their use was correct and review their effect on health. The analysis was based on information on the labels and images of processed meat, and used a generalised linear model with a binary dependent variable. The risks and benefits for human health were defined based on the available literature. Twelve dyes were found to be used in the manufacture of processed meat. Carmine was found in 183 of 273 (67.03%) evaluated assortments containing dyes. The occurrence of water, flavourings and high fat and carbohydrate contents increased the chances that a dye would be present in a particular product. Unauthorised use of food additives was found in 20 products, with smoked meat products demonstrating the highest number of non-compliances. In general, the dyes used with food are considered safe; however, reservations are associated with the use of E150C and E150D caramels due to their potential carcinogenic effect, and carmine and annatto due to their allergic effects.

Keywords: annatto; betanin; caramel; carmine; dyes; food additives; food safety; paprika extract



Citation: Czech-Zalubska, K.; Klich, D.; Jackowska-Tracz, A.; Didkowska, A.; Bogdan, J.; Anusz, K. Dyes Used in Processed Meat Products in the Polish Market, and Their Possible Risks and Benefits for Consumer Health. *Foods* **2023**, *12*, 2610. <https://doi.org/10.3390/foods12132610>

Academic Editors: Cristina Delgado-Andrade and Wenjie Sui

Received: 12 April 2023

Revised: 3 July 2023

Accepted: 4 July 2023

Published: 6 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

The decision to purchase a particular food item is strongly influenced by its appearance [1–3]. One such quality is food colour, which may be interpreted as an indicator of flavour, freshness, maturity or wholesomeness, and its intensity may also affect taste perception [2,4,5]. Therefore, food manufacturers often employ additives to improve the colour of their products and make them more attractive to consumers.

Even though colour may be one of the most important considerations in a purchasing decision, it should be emphasised that food must primarily be safe for consumption [6]. Any unauthorised use of food additives may seriously affect human health.

The use of pigments and other food additives by food manufacturers within the borders of the European Union is regulated by Regulation 1333/2008 of the European Parliament and Council (EC) of the 16 December 2008 regarding food additives [7]. The legislator has authorised 41 additives, classified as pigments, based on their role in the final product. In addition, to more precisely define the conditions permitting the use of additives, foods have been divided into specific categories [8]. The present study concerns products within the following categories as defined in Regulation No. 853/2004 (EC): Meat preparations (No. 8.2) and Meat products (No. 8.3). The latter is divided into Non-heat-treated processed meat (No. 8.3.1) and “Heat-treated processed meat” (No. 8.3.2) [7–9].

Depending on the food category and substance type, pigment use can be determined by the level of *quantum satis* or the maximum numerical value set by the legislator [7].

Legislation on the use of additives varies between different parts of the world. In the US, general rules for using food colours are regulated by § 70 Title 21 of the Code of Federal Regulations [10]. As a result, nine food additives acting as pigments have jointly been certified and approved for use in the food industry by the Food and Drug Administration (FDA), seven of which are intended for general use [11].

The aim of the present study is to identify the most common dyes present in processed meat on the Polish market, examine the relationships between their presence and the food characteristics, and evaluate their correctness of use; these aims are achieved by an analysis of information of product labels. Based on the available literature, it also assesses the risks and benefits to human health of using such dyes. Knowledge of the presence of dyes in meat products and meat preparations may also affect the dietary and purchasing decisions among consumers predisposed to allergic reactions.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design

The assessment included only processed meat products. Based on the label description and an image of the product, the product was categorised as a meat preparation (8.2) or meat product (8.3) as defined in Regulation 853/2004 (EC) [9]. Next, due to their considerable variety, the meat products were then subdivided into four groups (smoked meats, sausages, offal meat and other meat products) according to Polish Standard PN-A-82007, “Przetwory mięsne. Wędliny.” (*Meat products. Smoked*) [12]. Therefore, the analysis was conducted in a total of five groups.

The analysis encompassed labels from meat products and meat preparations found on shelves and in display fridges at shops included in the study. All meat preparations and most of the meat products (all smoked meat, most of the sausages, pates and other meat products, excluding those listed below) were chilled and stored at a temperature of 2–10 degrees. Some kabanos sausages, pate and canned ham were stored at no higher than 25 degrees ambient temperature. These were obtained from the five largest retail chains offering the above ranges of goods, based on their share in the market according to total income in 2018, as indicated by the Ministry of Finance report for 2019 [13]. Those were, in decreasing order of income, Biedronka (JERONIMO MARTINS POLSKA), Lidl (FRF Beteiligungs GmbH), Eurocash (a conglomerate comprising Lewiatan, Groszek and Delikatesy Centrum), as well as the Auchan and Kaufland networks.

The study sites comprised all Polish cities with populations exceeding 250,000 inhabitants (11 cities) [14] as well as six minor cities. In each of the 17 cities, one representative per retail network mentioned above was selected, provided that the shops of that particular network were present and the samples were collected there. Photographs of the product labels were taken for analysis, together with the products themselves.

In total, 12,333 labels were analysed, all of which were available in the shops during the study. The labels were collected over a few months, from October 2020 to March 2021, in 75 shops in 17 Polish cities.

2.2. Statistical Analysis

A generalised linear model with a binary dependent variable was constructed to predict the occurrence of dyes in processed meat products based on [15].

Two such analyses were carried out, the first including all processed meat products analysed in the study and the second including only sausages, as this group presented the highest frequency of dyes. In the all-products model, the dependent variable was the presence of a dye in the product, marked as 1, and the lack of a dye, marked as 0. The explanatory variables were product features that were obtained from the information on the labels, including (1) food technology groups (divided into five main groups: meat preparations, smoked meats, sausages, offal meat and other meat products); (2) water as an

ingredient (two categories: lack and presence of water); (3) flavours (two categories: lack and presence of flavours); and (4) covariates: protein (g/100 g of product), carbohydrates (g/100 g of product) and fat (g/100 g of product).

Covariates were first assessed for collinearity using Pearson's pairwise correlation. The meat content in the product (g/100 g of the product) was not included, due to its high correlation with protein content, nor was the type of meat (divided into poultry, pork and beef), due to quasi-complete separation.

The second model, sausages, used the same dependent variable and independent variables; however, the product variable was omitted. Both models were compared with the null *intercept-only* model to verify their explanatory power.

Calculations were based on data concerning the nutritional values of respective lots; as such, products lacking complete data were excluded from the analysis regarding the prediction of dye presence in processed meat based on product qualities. Therefore, 994 records were included in the study.

The risks to consumer health, and the potential benefits, were assessed based on the literature within the National Library of Medicine and the National Centre for Biotechnology Information, i.e., pubmed.gov databases. The database was searched for names of additives. Preliminary verification of publications was carried out based on their abstracts. A total of 134 papers were qualified for further analysis. After reviewing the entire publication, 43 of these papers were excluded due to missing desired information. Following this, the content of the 91 remaining articles was then evaluated. A ranking system was created to signify each publication in terms of the occurrence of risks and benefits for human health:

- Score = 0 (no risk or benefits): the papers indicate that the dye has no genotoxicity or carcinogenicity, acute or chronic toxicity or hypersensitisation potential but also has no benefit to human health
- Score = 1 (occurrences of risk or benefits): the papers indicate genotoxicity, carcinogenicity, acute or chronic toxicity, or hypersensitisation potential or benefit for human health concerning a particular dye.

Therefore, each dye was assigned a specific number of points for each of the five risks or benefits. Then, the ratio of the number of publications indicating the occurrence of a given risk/benefit to a specific dye to all publications about a given risk/benefit concerning a particular dye was calculated.

3. Results

3.1. Incidence

In total, 1967 unique assortments belonging to food categories 8.2, 8.3.1 and 8.3.2 were identified. Of these, 273 (13.88%) contained additives that manufacturers indicated were dyes. Moreover, more than one pigment was used for the production of 31 (1.6%) assortments, and at least three dyes were used in the case of four (0.2%) assortments.

A total of 12 food additives acting as dyes were identified in the studied meat products and preparations available in the Polish market. The most frequently used dye was carminic acid (E120), which was found in 183 out of the 273 assortments containing dyes (67.03%) (Figure 1). Carbon (E153), carotenes (E160A) and titanium dioxide (E171) (Table 1) were the rarest dyes, being identified in just single lots.

3.2. The Analysis of Label Incompliance

In the case of food dyes, it is impossible to unambiguously determine the correctness of their use in processed meat only based on labels. Some substances are not authorised for use as dyes in foods belonging to food categories 8.2 (Meat preparations), 8.3.1 (Non-heat-treated processed meat) and 8.3.2 (Heat-treated processed meat), with a concomitant admission for use in category 8.3.3 (Casings, coatings and decorations for meat). Therefore, an additional visual assessment was performed of products that did not meet the requirements of use designed for food categories 8.2, 8.3.1 and 8.3.2. If the dye was found to be part of an edible casing or decoration on the surface of the analysed product, its use was

classified as compliant with regulations. The remaining products without decoration nor edible casing were considered potentially non-compliant. These findings are presented in Table 2. No such improper use was observed for curcumin (E100), carotenes (E160A) and annatto (E160B).

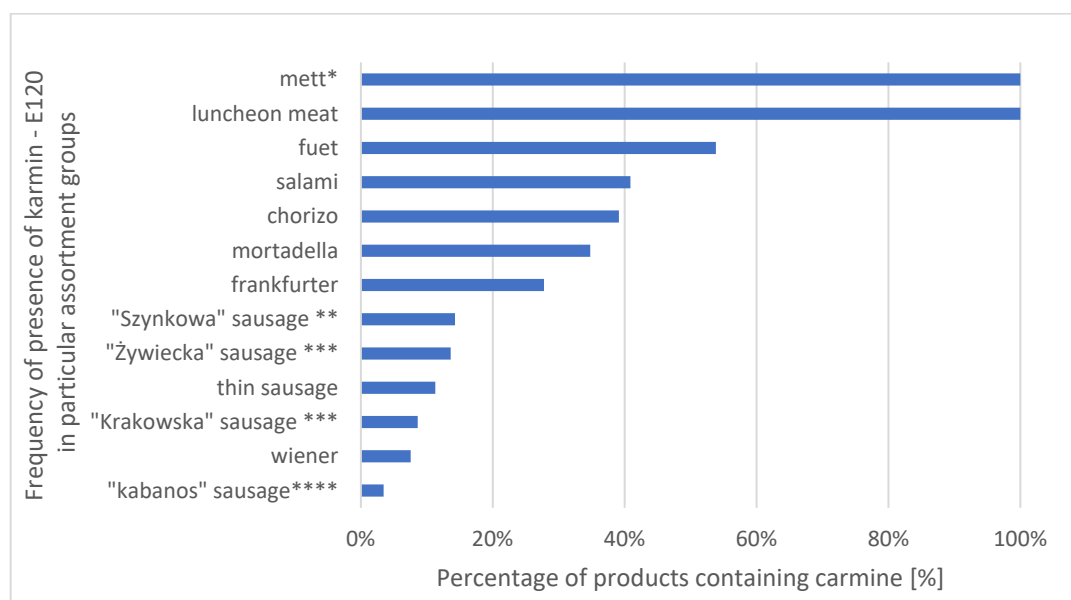


Figure 1. Frequency of presence of carmine (E120) in processed meat belonging to particular food products. Product descriptions: * a preparation of seasoned minced raw pork that is popular in Germany and Poland; ** a sausage prepared using ham and other ingredients, the latter varying by location. It is part of the cuisines of China, Germany, Poland and the United States; *** a type of Polish sausage, usually served as a cold cut; **** a long, thin, dry sausage traditionally made of pork that originated in Poland.

Table 1. Frequency of dye presence in the studied meat preparations and meat products.

Assortment Group	Food Colouring (Number of Examples)											
	E100	E101	E120	E150A	E150C	E150D	E153	E160A	E160B	E160C	E162	E171
smoked meats	0	1	3	2	2	8	0	0	0	1	0	1
sausages	0	1	164	3	7	5	0	1	8	31	25	0
offal meats, including pâtés	2	2	2	6	1	5	0	0	0	6	2	0
other meat products	1	0	14	0	0	0	1	0	0	1	0	0
meat preparations	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
all products	3	4	183	11	10	18	1	1	8	39	29	1

Potential non-compliance for riboflavin (E101) and paprika extract (E160C) was observed in one out of four and one out of thirty-one products, respectively. In addition, potential non-conformance was noted in 7 out of 183 products containing carminic acid, 8 out of 38 examples of E150A-E150D caramels and in 1 out of 29 cases of betanin.

Possible non-compliance was noted in the case of E153 (carbon). E153 is not authorised for use in foods in categories 8.2, 8.3.1 and 8.3.2; however, it is authorised for use in category 8.3.3. As visual assessment showed that the product tested had neither edible casing nor meat decoration, the product was classified as non-compliant.

Table 2. The percentage of non-compliance found in particular assortment groups.

Assortment Group	Food Colouring											
	E100	E101	E120	E150A	E150C	E150D	E153	E160A	E160B	E160C	E162	E171
smoked meats	0%	100%	33%	50%	50%	63%	0%	0%	0%	100%	0%	100%
sausages	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
offal meats, including pâtés	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	0%
other meat products	0%	0%	43%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
meat preparations	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
all products	0%	25%	4%	9%	20%	28%	100%	0%	0%	3%	3%	100%

Products containing colour E171 were classified as non-compliant, as this colour is no longer authorised for use in food.

Out of all analysed assortment groups, the highest number of non-compliances was noted in smoked cold meats. The additives with the highest percentage of non-compliances were riboflavin and the caramel group.

3.3. An Analysis of Dye Presence Prediction in Processed Meat Based on Product Qualities

The presence of dyes in processed meat was significantly dependent on the type of product (PRODUCT) (Table 3). Sausages were over six times more likely to include dyes compared to smoked meats ($B = 1.901$, $p < 0.001$), while other meat products were almost three times more likely ($B = 1.068$, $p = 0.005$). The presence of dyes could also be predicted by the presence of water ($p < 0.001$) and flavours ($p = 0.001$) in the products; however, in both cases, the lack of this component (water and flavours) resulted in a slightly lower chance of a dye being present ($B = -0.591$ and $B = -0.494$, respectively). The content of nutrients in the product could also predict the presence of dyes. The chance of a dye being present increased with the increase in fat and carbohydrate content per 100 g of the product ($B = 0.031$, $p < 0.00$ and $B = 0.092$, $p = 0.001$, respectively). However, the likelihood of a dye decreased with the increase in the protein content ($B = 0.070$, $p < 0.001$). Carbohydrate content had the greatest effect of the three covariates studied (Figure 2).

Table 3. Effect of water, flavours, product type, and fat, carbohydrate and protein content on the presence of dye in processed meat in a generalised linear binary model ($n = 1834$), 0*—reference category (B—beta coefficient, SE—standard error, Wald Chi²—chi square test of beta coefficient, p — p value of chi square test, Exp (B)—odds ratio, Lower CI—lower value of confidence interval, Upper CI—upper value of confidence interval).

Source	B	SE	Wald Chi ²	p	Exp(B)	Lower CI	Upper CI
Intercept	−2.413	0.2748	77.117	0.000	0.090	0.052	0.153
PRODUCT (sausage)	1.901	0.2636	51.995	<0.001	6.690	3.991	11.215
PRODUCT (other meat products)	1.068	0.3787	7.955	0.005	2.910	1.385	6.112
PRODUCT (meat preparations)	0.702	0.7899	0.790	0.374	2.018	0.429	9.490
PRODUCT (offal meat)	0.409	0.3853	1.125	0.289	1.505	0.707	3.203
PRODUCT (smoked meats)	0*						
WATER (absent)	−0.591	0.1746	11.462	<0.001	0.554	0.393	0.780
WATER (present)	0*						
FAVOURS (absent)	−0.494	0.1555	10.082	0.001	0.610	0.450	0.828
FAVOURS (present)	0*						
FAT	0.031	0.0063	25.184	<0.001	1.032	1.019	1.045
CARBOHYDRATES	0.092	0.0282	10.568	0.001	1.096	1.037	1.158
PROTEIN	−0.070	0.0118	35.571	<0.001	0.932	0.911	0.954

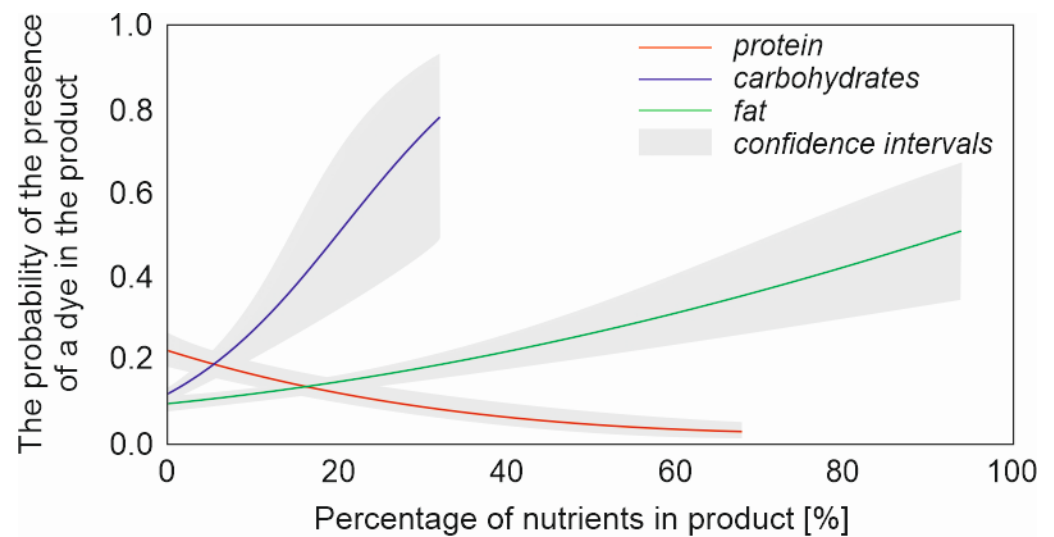


Figure 2. The probability of the presence of a dye in meat product against the percentage of nutrients (protein, carbohydrates and fat).

Similar trends regarding the occurrence of dyes were observed in the analysis for sausages (Table 3). Similarly, a lack of water and flavours indicated a lower chance of dyes ($B = -0.561$, $p = 0.004$ and $B = -0.466$, $p = 0.011$, respectively). There was also a similar relationship with nutrients, i.e., the chance of dyes increased with fat and carbohydrate content ($B = 0.058$, $p < 0.001$ and $B = 0.093$, $p = 0.011$, respectively) and decreased as the protein content increased (Figure 3). In sausages, the protein content had a stronger effect than for all other products combined ($B = -0.070$ and $B = -0.111$, respectively) (Tables 3 and 4).

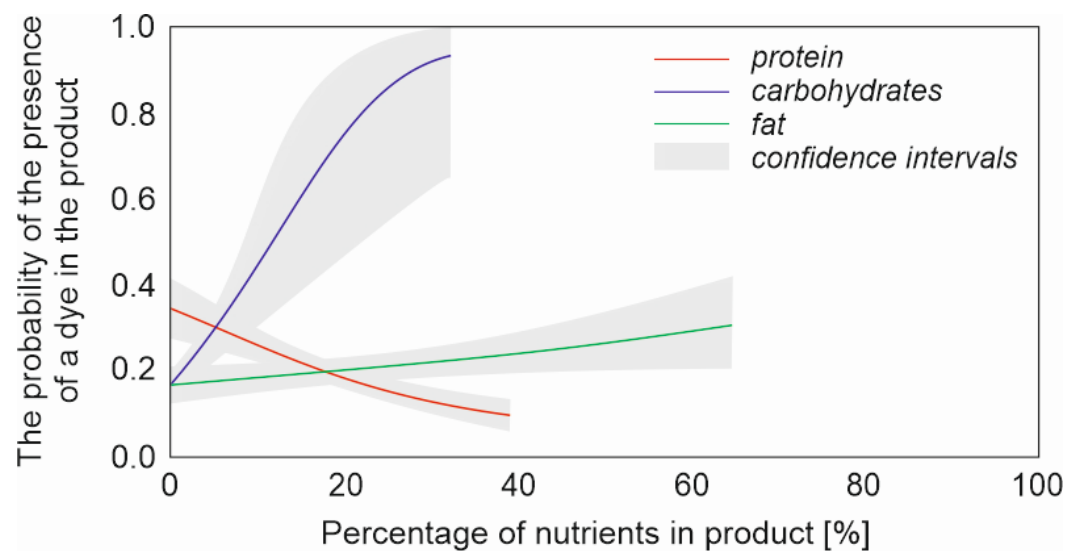


Figure 3. Probability of presence of dye in sausages against the percentage of nutrients (protein, carbohydrates and fat).

Table 4. Effect of water and flavours, as well as fat, carbohydrate and protein content, on the presence of dye in sausages according to a generalised linear binary model ($n = 937$), 0*—reference category (B—beta coefficient, SE—standard error, Wald Chi²—chi square test of beta coefficient, p — p value of chi square test, Exp (B)—odds ratio, Lower CI—lower value of confidence interval, Upper CI—upper value of confidence interval).

Source	B	SE	Wald Chi ²	p	Exp(B)	Lower CI	Upper CI
Intercept	−0.534	0.2026	6.959	0.008	0.586	0.394	0.872
WATER (absent)	−0.561	0.1967	8.119	0.004	0.571	0.388	0.839
WATER (present)	0*						
FAVOURS (absent)	−0.466	0.1825	6.510	0.011	0.628	0.439	0.898
FAVOURS (present)	0*						
FAT	0.058	0.0106	30.192	<0.001	1.060	1.038	1.082
CARBOHYDRES	0.093	0.0367	6.395	0.011	1.097	1.021	1.179
PROTEIN	−0.111	0.0182	37.128	<0.001	0.895	0.863	0.927

3.4. Evaluations of Risks and Benefits for Consumer Health

The food colours identified in fewer than five assortments (E100, E101 and E160A) and those unauthorised for usage in meat products and meat preparations (E153 and E171) were excluded from the analysis.

Ninety-one reviewed publications were found to evaluate the risks and benefits for consumer health, i.e., genotoxicity, carcinogenicity, acute and chronic toxicity and an inductive potential towards allergies. The findings are illustrated in Figure 4.

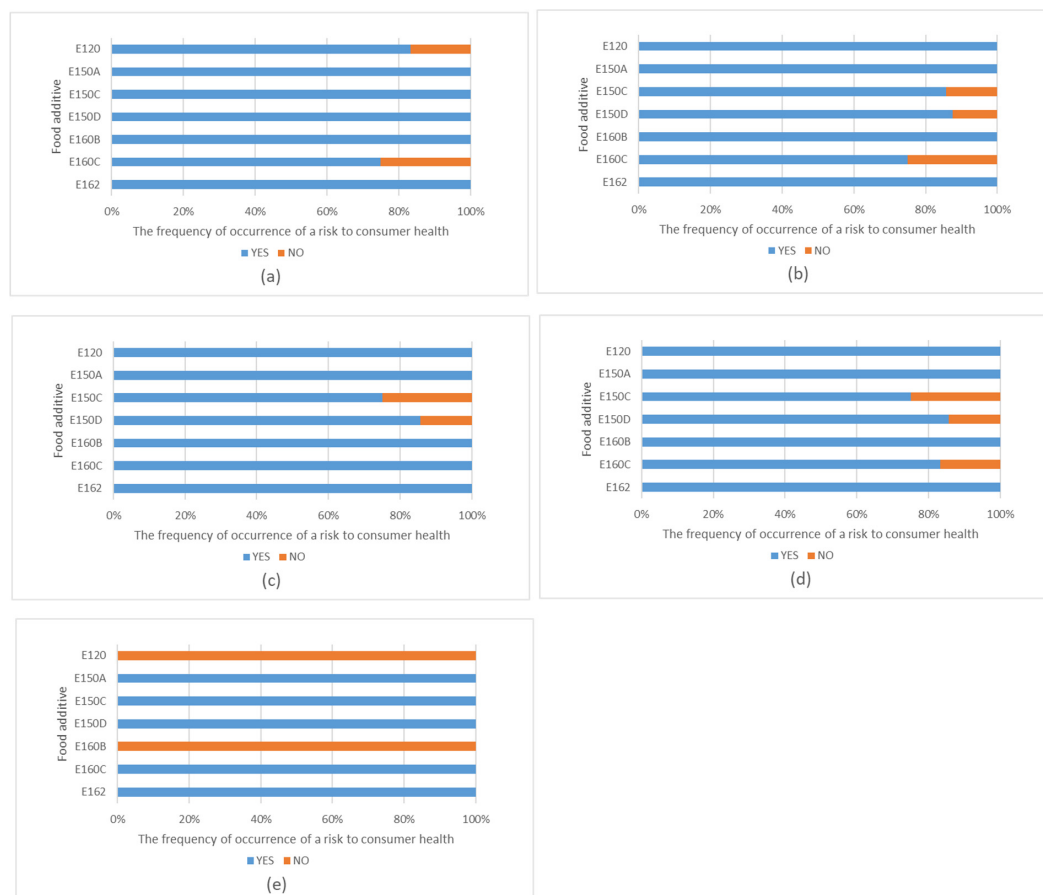


Figure 4. Evaluation of dyes in terms of the frequency of occurrence of a risk to consumer health. The health risks include (a) genotoxicity, (b) carcinogenicity, (c) acute toxicity, (d) chronic toxicity and (e) inductive potential for allergies.

4. Discussion

4.1. Carmine, Carminic Acid, Cochineal Extract—E120

Our findings indicate that the most commonly used dye in meat products and meat preparations is E120, also known as C.I. natural red 4. The main staining component of this natural red food additive is carminic acid. E120 is obtained by an aqueous, aqueous-alcohol or alcoholic extraction of the dried female specimens of *Dactylopius coccus* Costa (the cochineal beetle) [16–18].

The primary food categories contributing to exposure to E120 are as follows: soups and bouillons for infants, flavoured fermented milk products for infants and children, snacks and sauces for adolescents, and sauces, flavoured drinks, herbs and spices for adults and older adults. Importantly, although considerably less exposure is observed from category 8, i.e., meat and its preserves, this still represents a dozen or so per cent in respective age groups [18].

The FDA has classified Cochineal extract as a pigment exempt from certification, whose use is not liable to special restrictions [15]. In contrast, EFSA authorised this dye use in categories 8.2, 8.3.1 and 8.3.2 exclusively for specific assortment groups, with the preservation of maximum acceptable levels of use, except for Pasturma (air-dried cured beef) where it is allowed to stick to the *quantum satis* rule [7].

Our present findings indicate that E120 was used in accordance with regulations in the 164 sausage range and 2 pâté range. The additional visual inspection revealed that 7 out of the remaining 17 products did not contain an edible casing or decorations (8.3.3), suggesting that the use of the additive was incorrect [7].

Most previous studies show that both carminic acid and Cochineal extract are non-toxic, non-carcinogenic and non-genotoxic, and do not evoke either developmental or reproductive toxicity assuming an acceptable daily intake (ADI) of 5 mg/kg bm (carmine) and 2.5 mg/kg bm (carminic acid) [18–21]. Additionally, recent studies indicate that carminic acid might be an effective therapeutic agent used as part of the treatment against fructose-induced chronic renal damage [22].

However, a recent study by Arif, Ahmad and Ahmad indicates that carmine is a potentially cytotoxic, phytotoxic and genotoxic substance [23]. As such, its use with food may raise anxiety among consumers. Another paramount aspect for consumers is the fact that both carminic acid and carmine may trigger diverse allergic reactions in susceptible individuals, starting with mild pruritus [24], nettle rash, vasomotor oedema, atopic eczemas in children [25–27] and reaching acute hypersensitivity responses such as dyspnoea or bronchospasms that may lead to severe anaphylactic reactions [18,26,28–33]. Also, cases of hypersensitivity associated with long-term contact with the pigment were described. Examples cover rhinitis, conjunctivitis and asthma originating from professional exposure to carmine [29,34], e.g., the case of profession-related asthma in two butchers who used a mixture of spices with carmine for the production of sausages [35]. The most probable reason for manifesting this immunoglobulin E (IgE)-mediated allergic reaction is the contamination of the pigment with protein [32,34,36,37]. Our findings regarding the incidence of this dye in respective groups of products may help in making choices by consumers in whom the presence of E120-intake-induced allergic reactions occurred. Those consumers should largely avoid eating such products as luncheon meat and mett (raw-meat sausage), in which E120 is almost always present. In the case of lots such as fuet, salami and chorizo (varieties of sausages), the frequency of occurrence of carminic acid ranged from 40 to 54%.

4.2. Paprika Extract (E160c), Capsicum Extract, Capsanthin and Capsorubin

Our analysis of product labels found paprika extract (E160c) to be the second most commonly used food colouring in the studied meat products and preparations. It is a natural additive imparting a yellow to orange colour [3], also known as oleoresin from paprika. It is used in the form of a dark red viscous liquid, its major dyeing components being capsanthin and capsorubin. It is obtained by solvent-assisted extraction from the

pods of numerous varieties of the *Capsicum annuum* (Linnaeus) pepper. The pigment may also contain capsaicin, i.e., chili extract, for which a limit of 250 mg/kg has been established [16]. The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) has fixed the ADI of paprika extract at the level of 1.5 mg/kg bw [38].

The EFSA exposure analysis indicates that the main food categories contributing to exposure to paprika extract used as a pigment are 6.3—Breakfast cereals, 7.2—Fine bakery wares and 12.5—Soups and broths. In contrast, exposure resulting from category 8—Meat and meat products, ranges from a few to over a dozen per cent in all age groups [39].

Paprika extract, E160c, is an additive belonging to group II-dyes approved for use in accordance with the principle of *quantum satis* (QS), except for the categories concerning meat preparations and meat products, where the maximum limit of use and products for which it can be used have been indicated [7]. However, the pigment is exempt from certification by the FDA, and its use is not liable to special restrictions [11]. In this study, thirty-one sausage products and six pâtés were found to have been treated with paprika extract as authorised. Regarding the other two assortments, visual assessment indicated that in one case, the paprika extract was used to decorate the meat (category 8.3.3), and was thus permitted, while the other had no decoration or edible casing, and hence was probably not [7].

Available studies indicate that paprika extract is non-toxic, non-carcinogenic, non-genotoxic [40–42] and probably does not evoke either developmental or reproductive toxicity assuming an intake below its ADI of 24 mg/kg bw [39]. In the case of capsaicin, older studies have indicated potential genotoxicity and carcinogenicity, while more recent studies based on purified capsaicin (not contaminated with other capsaicinoids) indicate low genotoxic and carcinogenic potential [43–45]; some even indicate a positive effect on human health. It is believed that this substance may have analgesic, antioxidant, anti-inflammatory and anticancer properties and could possibly be used to prevent obesity [46–52].

As there are no reports indicating that paprika extract has a negative impact on human health or any allergenic properties, and considering its antioxidant and colouring properties, this additive may be a natural substance that can replace or reduce the content of nitrites in meat products [53,54]. Studies show that approximately 3/4 of nitrites used in the production of sausages with regular fat content can be replaced with paprika oleoresin [54].

4.3. Betanin, Beetroot Red—E162

Betanin was found to be the third most commonly used dye in the tested meat preparations and meat products. It is obtained from the root of different beet varieties (*Beta vulgaris* L. var. *rubra*) by squeezing the juice from grated beets or by water extraction of shredded beetroot followed by enrichment with active ingredients [16,55,56]. In addition to its pigments, beetroot juice or extract contains sugars, salts and beet proteins [55].

The EFSA exposure analysis indicates that the main food categories contributing to exposure to betanin used as a pigment are 6.3—Breakfast cereals, 7.2—Fine bakery wares and 12.5—Soups and broths. In contrast, exposure resulting from category 8—Meat and meat products ranges from a few to over a dozen per cent in all age groups [55].

Beetroot Red is a group II additive, i.e., dyes approved for use based on the *quantum satis* principle, and is permitted for use in specific products in categories 8.2, 8.3.1 and 8.3.2 [7]. In contrast, the FDA regards beetroot red as a pigment exempt from certification, whose use is not liable to special restrictions [11]. The additive was observed in 29 of the tested assortments of which 26 were added in accordance with regulations: 25 sausages and 1 pâté. As the second product from the offals group was not a pâté, it was subjected to a visual assessment; the results indicate that it did not have an edible casing or meat decoration, and so the dye was probably misused. In turn, in the case of two products classified by the authors as meat preparations, unauthorised use could also be assumed. However, due to the lack of access to the producers' records and thus the inability to clearly state that these sausages are meat preparations and not non-heat-treated processed meat

for which such use of E162 would be correct, these assortments were not found to be non-compliant [7].

Beetroot red is non-toxic, non-genotoxic and non-carcinogenic [57–60]. However, the EFSA concluded that more comprehensive studies are needed to assess any potential genotoxicity, chronic toxicity and carcinogenicity and its impact on reproductive and developmental toxicity. In addition, no toxicological data are available to establish an acceptable daily intake for E162. However, exposure to betanin from the use of E162 as a food additive is considered to be in the same range as exposure to betanin from a regular diet; as such, betanin has been recognised as safe for use as a food additive [55]. Numerous studies indicate that betanin has a beneficial effect on human health. It acts as an antioxidant and anti-inflammatory agent, lowers blood pressure, restores the haemodynamics of brain vessels, supports the treatment of obesity, reveals cytotoxic properties concerning some cancer cells and is chemopreventive in relation to cancer [59,61–67]. In addition, the antioxidant properties of betanins effectively reduce oxidative stress in chronic heart failure, which indicates a cardioprotective effect [59,68]. In addition, beetroot red has been shown to have a cytotoxic effect on cancer cells, specifically human breast cancer cells: the use of the extract resulted in the activation of both intrinsic and extrinsic apoptosis pathways in breast cancer cells [59].

Due to their antioxidant activity, betanins may also be alternatives to synthetic antioxidants used to prevent lipid peroxidation processes in fat-containing foods, including meat products. Fat oxidation adversely affects the sensory properties, nutritional value and shelf life of products, and can also lead to the formation of compounds potentially harmful to health [59,69].

4.4. Caramel Colours 150a, 150c and 150d

The caramel dyes were found to rank fourth as a group among the tested food colourings used in processed meat. The group is further divided according to the reagents used in their production: Class I—plain caramel or caustic caramel (E150a), Class II—caustic sulphite caramel (E150b), Class III—ammonia caramel (E150c) and Class IV—ammonia sulphite caramel (E150d) [70,71].

Caramel or caustic caramel (E150a) is obtained by controlled heat treatment of carbohydrates, either monomers of glucose and fructose, or their polymers, such as glucose syrups, sucrose or inverted syrups and dextrose. This caramel is free of sulphite and ammonium compounds and produced by ordinary cooking processes. Therefore, there is no need to determine a numerical value of acceptable daily intake [71].

Ammonia caramel (E150c) is obtained by controlled heat treatment of carbohydrates, with or without adding acids or bases, in the presence of ammonium compounds (ammonium hydroxide, ammonium carbonate, ammonium bicarbonate and ammonium phosphate); sulphite compounds are not used [16,70]. The ADI set by the Scientific Committee on Food (SCF) was set at 200 mg/kg bw/day, assuming that the content of 2-acetyl-4-tetrahydroxybutylimidazole (THI) must not exceed 10 mg/kg of dye. Based on the intensity of the colour, the JECFA has established an ADI value of 25 mg THI/kg caramel colour [71].

Ammonia sulphite caramel (E150d) is obtained by controlled heat treatment of carbohydrates, with or without the addition of acids or bases, in the presence of both ammonium and sulphite compounds (sulphurous acid, potassium sulphite, potassium metabisulphite, sodium sulphite, sodium metabisulphite, ammonium hydroxide, ammonium bicarbonate, ammonium phosphate, ammonium sulphate, ammonium sulphite and ammonium bisulphite) [16]. For E150d, the SCF and the JECFA have set an ADI of 200 mg/kg bw/day.

Caramels are regarded as Group II additives, i.e., dyes approved for use in specific products within categories 8.2, 8.3.1 and 8.3 under the principle of *quantum satis* [7]. In contrast, the FDA regards caramel as being exempt from certification, whose use is not liable to special restrictions [11].

During the present study, it was found that caramels were used in the production of 38 assortments (1 sausage contained 2 types of caramel); among these, 22 were treated in accordance with the regulation: 14 were sausages and 8 were pâtés. The remaining 16 products, belonging to processed meat, were subjected to visual assessment on the basis of which it was established that in 8 cases, they had a casing or meat decoration (category 8.3.3), in which E150a-d is permitted. In the case of the other 8 products, no meat casing or decorations were found, so it is highly probable that the additive was misused [7].

Caramels I, III and IV do not appear to demonstrate acute or chronic toxicity, nor genotoxicity or carcinogenicity and do not appear to evoke any reproductive or developmental toxicity at the acceptable daily intake [72–78].

Doubts regarding the use of caramel III as a dye are caused by the immunotoxic effect of 2-acetyl-4-tetrahydroxybutylimidazole (THI), which is generated during its production. Human studies determined that THI did not affect the number of blood lymphocytes or the proliferation of the lymphocyte response to mitogenic stimulation and serum immunoglobulin levels. In the study, a type III caramel containing 23 ppm (commercial sample) or 143 ppm THI (study sample) was administered at an acceptable daily intake level of 200 mg/kg bw/day for seven days [79].

Concerns about the use of class III and IV caramel dyes also result from the identification of 4-methylimidazole in their composition, which is formed in the Maillard reaction as a result of the interaction of D-glucose and ammonia [80]. The National Toxicology Program (NTP) of the US National Institutes of Health, based on studies on the toxicity and carcinogenicity of 4-MEI and its structural isomer 2-MEI, found clear evidence that 4-MEI has carcinogenic activity in male and female B6C3F1 mice based on an increased incidence of alveolar or bronchiole cancer [76]. Accordingly, the International Agency for Research on Cancer has therefore concluded that 4-MI is “possibly carcinogenic to humans,” and The Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHHA) of the State of California’s Environmental Protection Agency has identified 4-MEI as a carcinogen [81].

In conclusion, the estimated consumption of caramel dyes depends largely on the eating habits of consumers. In the US, caramels are considered colourants exempt from certification and are used under general conditions without special restrictions; however, California regulations regard them as bearing potential carcinogenic effects [81]. In contrast, consumers in China receive relatively little exposure to class I, III and IV caramel dyes, with soy sauce, vinegar and spices contributing the most. Moreover, the risk of exposure to 4-MEI and THI from food colouring for the Chinese population was considered low based on current toxicology data [82].

4.5. Annatto, Bixin, Norbixin—E160b

The next most common colourant identified in the tested meat preparations and meat products was annatto (E160b). This substance is an orange-red natural dye that plays an important role as a pigment and additive in various industries and is obtained from the seeds of the tropical tree *Bixa orellana* [16,83]. The JECFA established an ADI for bixin of 0–12 mg/kg bw [84], and the SCF recently established an ADI of 6 mg bixin/kg bw per day and 0.3 mg norbixin/kg bw based on toxicological data [85].

A recent exposure analysis performed by the EFSA indicates that the main food category contributing to bixin-based annatto extract exposure among all age groups is 14.1.4—Flavoured drinks. Additionally, category 01.4—Flavoured fermented milk products are key sources of exposure among infants, children and adolescents, and 12.5—Soups and broths among the adult and elderly population. In contrast, the main categories contributing to exposure to norbixin-based annatto extract are the following: 07.2—Fine bakery wares for all age groups; category 06.3—Breakfast cereals and 12.5—Soups and broths for infants and children; categories 08.3—Meat products and 12.5—Soups and broths for adolescents and adults; and 06.3—Breakfast cereals, 08.3—Meat products and 12.5—Soups and broths for the elderly population [85,86].

E160B(i) bixin and E160B(ii) norbixin are authorised for use in certain types of products in categories 8.2, 8.3.1 and 8.3.2, subject to the maximum acceptable limit [7]. The FDA regards annatto extract as exempt from certification that can be used for colouring food in quantities consistent with good manufacturing practice [11]. During the present study, the additive was found in eight types of sausage; as it was approved for these categories, no incorrect use was found [7].

Most studies to date show that both bixin and norbixin are non-genotoxic, non-carcinogenic and non-toxic and do not evoke reproductive or developmental toxicity [87–91].

Our review of the literature indicated that annatto may cause allergic reactions. The possible symptoms include pruritus and hives [92–94], vasomotor oedema and even anaphylactic reactions [25,95–97]. This dye may also affect the severity of the symptoms of the disease in people with irritable bowel syndrome [98].

In addition, some studies indicate that the dye may have positive effects. Annatto supplementation in the diet has been proven to increase the resistance of human erythrocytes to haemolysis [99]. As a result of its antioxidant activity, this dye can also be considered a good source of natural antioxidants used in the production of meat products [100]. Additionally, adding annatto to processed meat products can partially replace the use of nitrites in production [101].

4.6. Assessment of the Frequency and Correctness of the Use of Dyes in Processed Meat Products

Dye was observed to be more than six times more common in sausages and more than three times in other meat products compared to smoked meats, offal products and meat preparations (Table 1); however, this is expected due to the restrictions indicated in Regulation 1333/2008 [7], governing the use of these dyes. All described dyes are permitted in food category no. 8, but their use was mainly limited to sausages (classified in categories 8.2, 8.3). These dyes could also be used in category 8.3.2 to produce terrines and pates, and additionally, annatto could also be used in luncheon meats; however, the dyes are not approved for use in smoked meat. Terrines and luncheon meats were qualified as *other meat products*. Therefore, it was predicted that dyes would be most commonly observed in sausages and that they would be absent in smoked meats; however, some dyes can be used in decorative casings and coatings, which will also apply to smoked meats.

Our analysis of the labels of processed meat products indicate the unauthorised use of dyes in 20 (7.33%) out of the 273 products in which they were used. Therefore, it seems reasonable to conduct further research to assess whether the dyes used in processed meat products are used at appropriate levels of use. Most discrepancies concerned the smoked meats group. In the authors' opinion, smoked meats should be the first group that will be subjected to detailed chemical analysis.

It should be noted that any food on the market must be safe for human health [6]. Therefore, it is crucial that the FBO complies with Regulation 1333/2008 (EC), specifying the use of additives in food products, thereby preventing food safety hazards and ensuring that their products are safe. This is only possible if producers use authorised additives and observe specified maximum levels and conditions of use.

A positive correlation was found between the presence of water in meat products and the presence of dyes. This seems to be related to the way processed meat products are produced, i.e., traditional or conventional production [102]. Employing high-performance water-binding additives in the products, such as phosphates, carrageenan or starch, may contribute to this [102–104]. Therefore, it appears that dyes are less common in traditionally manufactured products than in conventional, high-performance products.

In addition, a positive correlation was noted between the occurrence of a dye and the fat contents per 100 g of the product, which suggests that high-fat products were found to be more likely to contain dyes. Undoubtedly, the fat content in processed meat products affects their colour. Research showed that reduced-fat products were redder compared with fatter products [105,106], while a higher protein level that is observed in lean meat—and thereby a higher level of myoglobin pigment in the product—significantly raised redness values [107].

The high-fat content products were darker and displayed browner colour, and they stood out with an increase in the proportion of yellow colour [108]. Higher fat content, as well as, for example, the addition of barley fibre, which also causes a significant darkening and an increase in the proportion of yellow colour of meat products, may result in poorer consumer acceptance of them [109]. In the authors' opinion, therefore, it can be cautiously concluded that the desire to mask the unfavourable colour of fatty meat products may be the reason for the more frequent presence of dyes. Moreover, it should be remembered that meat is an important dietary source of saturated fatty acids (SFAs), which are responsible for the texture, juiciness and palatability of meat products [110]. However, due to the risk of many lifestyle diseases, including cardiovascular diseases, cancer and diabetes, consumers should avoid consuming products with a high SFA content [111]. The compliance of consumers with dietary recommendations and thus reducing the consumption of processed meat products with a high SFA content may probably lead to reducing exposure to dyes from these assortments.

Moreover, a positive correlation was found between the presence of a dye and the carbohydrates contents per 100 g of the product. In products where some of the meat proteins have been replaced by binders and fillers, such as rusk, breadcrumbs, cereal, legumes and soy protein, an increase in the carbohydrate content was observed. Food colourings in processed meat products are mainly used to camouflage fillers such as carbohydrates [112]. Therefore, probably, the more content of carbohydrates in these products, the higher is the need for such camouflage. Conversely, if products have a high protein content, they probably also have a lower carbohydrate content, and there is no need to improve the colour of the meat product, because the meat colour comes mainly from haem and myoglobin content [113]. Moreover, some colours are made from certain carbohydrates, e.g., caramel [114]; therefore, it is natural for the content of these ingredients and dyes to coincide.

4.7. Limitations

Our study has some limitations. First, due to our desire to obtain a comprehensive overview of the Polish market, and hence include as many samples as possible, our analyses were based on data obtained from processed meat product labels (the manufacturer's declarations about used additives) rather than chemical analysis of the processed meat product. The processed meat products were not subjected to any analysis regarding the level of use of additives, because this information was not given on the labels. However, the degree of compliance of the products with legal requirements was determined based on the possibility of using to them dyes given on the labels. Therefore, as no chemical analysis was performed, and it was not possible to access the producers' documents, the degree of compliance with the legal regulations may be overestimated.

5. Conclusions

Our findings indicate that 12 dyes are used in the production of meat products and preparations available on the Polish market. Out of the 273 studied assortments containing dyes, the most prolific pigment was found to be E120 carminic acid, found in 183 assortments. The presence of water and flavourings in the product increases the chances of the presence of a dye. As in the case where higher fat and carbohydrate contents per 100 g of the product increase the chance of a dye being present, this likelihood decreases as the protein content increases.

The results indicate a possible relationship between the presence of a dye in the product depending on the method of preparation (traditional or high-yielding products). In addition, dyes were more likely present in products with a higher carbohydrate content and less likely in products with higher protein content. The most significant number of inconsistencies was observed for smoked meats, and the greatest potential misuse of additives was noted for riboflavin and the caramel group. Most available analyses indicate no adverse effects on human health resulting from the use of food colourings, suggesting

these additives are considered safe, but only if FBO complies with the regulations and guidelines on using food additives. Nevertheless, we cannot omit scientific reports that say that using E150C and E150D caramels can have potential carcinogenic effects and carmine and annatto can have allergic effects.

Author Contributions: Conceptualization, K.C.-Z. and K.A.; methodology, K.C.-Z. and D.K.; validation, K.C.-Z. and J.B.; formal analysis, K.C.-Z., A.D. and D.K.; investigation, K.C.-Z.; resources, K.C.-Z.; data curation, K.C.-Z.; writing—original draft preparation, K.C.-Z. and D.K.; writing—review and editing, A.D., J.B. and K.A.; visualization, K.C.-Z. and D.K.; supervision, A.J.-T. and K.A.; project administration, K.C.-Z. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Koch, C.; Koch, E.C. Preconceptions of taste based on color. *J. Psychol.* **2003**, *137*, 233–242. [CrossRef] [PubMed]
- Wadhera, D.; Capaldi-Phillips, E.D. A review of visual cues associated with food on food acceptance and consumption. *Eat. Behav.* **2014**, *15*, 132–143. [CrossRef] [PubMed]
- Silva, M.M.; Reboredo, F.H.; Lidon, F.C. Food Colour Additives: A Synoptical Overview on Their Chemical Properties, Applications in Food Products, and Health Side Effects. *Foods* **2022**, *11*, 379. [CrossRef] [PubMed]
- Spence, C.; Wan, X.; Woods, A.; Velasco, C.; Deng, J.; Youssef, J.; Deroy, O. On tasty colours and colourful tastes? Assessing, explaining and utilizing crossmodal correspondences between colours and basic tastes. *Flavour* **2015**, *4*, 23. [CrossRef]
- Spence, C.; Levitan, C.A.; Shankar, M.U.; Zampini, M. Does Food Color Influence Taste and Flavor Perception in Humans? *Chemosens. Percept.* **2010**, *3*, 68–84. [CrossRef]
- EC. Regulation (EC) No. 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002. Laying down the general principles and requirements of food law, establishing the European Food Safety Authority and laying down procedures in matters of food safety. *Off. J. Eur. Union* **2002**, *L31*, 1–24.
- EC. Regulation (EC) No. 1333/2008 of 16 December 2008. On Food Additives. *Off. J. Eur. Union* **2008**, *L354*, 16–33.
- Guidance (EC) Guidance Document Describing the Food Categories in Part E of Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 on Food Additives. Available online: <https://food.ec.europa.eu> (accessed on 10 December 2022).
- EC. Regulation (EC) No. 853/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004. Laying down specific hygiene rules for food of animal origin. *Off. J. Eur. Union* **2004**, *L139*, 55–205.
- CFR. Color Additives. 21 CFR Part 70. Available online: <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-A/part-70> (accessed on 10 December 2022).
- CFR. Listing of Color Additives Exempt from Certification. 21 CFR Part 73. Available online: <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-A/part-73> (accessed on 10 December 2022).
- PKN. *Polska Norma PN-A-82007*; PKN: Warsaw, Poland, 1996; pp. 1–12.
- MF. Dane z Zeznań Podatkowych Podatników, o Których Mowa w Art. 27b Ustawy z Dnia 15 Lutego 1992 r. o Podatku Dochodowym od Osób Prawnych (Dz. U. z 2017 r. poz. 2343, ze zm.) Oraz w Ustawie z 24 Listopada 2017 r. o Zmianie Ustawy o Podatku Dochodowym od Osób Prawnych (Dz. U. poz. 2369). Available online: <https://gov.pl> (accessed on 16 June 2019).
- GUS. Demographic Yearbook of Poland 2018. Available online: <https://stat.gov.pl> (accessed on 17 June 2019).
- Dobson, A.J.; Adrian, G.B. *An Introduction to Generalized Linear Models*, 4th ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2018.
- EU. Commission Regulation (EU) No. 231/2012 of 22 March 2012. Laying Down Specifications for Food Additives Listed in Annexes II and III to Regulation (EC) No. 1333/2008 of the European Parliament and of the Council. *J. Eur. Union* **2012**, *L83*, 1–294.
- FAO. Cochineal Extract. Monograph 1. Prepared at the 55th JECFA 2000. Available online: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/Monograph1/Additive-137.pdf (accessed on 4 December 2022).
- EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). Scientific Opinion on the re-evaluation of cochineal, carminic acid, carmines (E120) as a food additive. *EFSA J.* **2015**, *13*, 4288.
- Cooksey, C.J. The red insect dyes: Carminic, kermesic and laccaic acids and their derivatives. *Biotech. Histochem.* **2019**, *94*, 100–107. [CrossRef] [PubMed]
- Merinas-Amo, R.; Martínez-Jurado, M.; Jurado-Güeto, S.; Alonso-Moraga, Á.; Merinas-Amo, T. Biological Effects of Food Coloring in In Vivo and In Vitro Model Systems. *Foods* **2019**, *8*, 176. [CrossRef] [PubMed]
- Sarikaya, R.; Selvi, M.; Erkoç, F. Evaluation of potential genotoxicity of five food dyes using the somatic mutation and recombination test. *Chemosphere* **2012**, *88*, 974–979. [CrossRef] [PubMed]

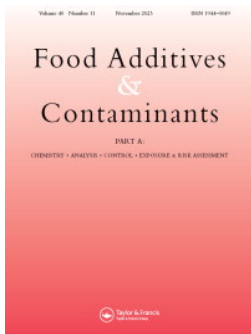
22. Li, Q.; Xu, Q.; Tan, J.; Hu, L.; Ge, C.; Xu, M. Carminic acid supplementation protects against fructose-induced kidney injury mainly through suppressing inflammation and oxidative stress via improving Nrf-2 signaling. *Aging* **2021**, *13*, 10326–10353. [CrossRef]
23. Arif, A.; Ahmad, A.; Ahmad, M. Toxicity assessment of carmine and its interaction with calf thymus DNA. *J. Biomol. Struct. Dyn.* **2021**, *39*, 5861–5871. [CrossRef]
24. Lucas, C.D.; Hallagan, J.B.; Taylor, S.L. The role of natural color additives in food allergy. *Adv. Food Nutr. Res.* **2001**, *43*, 195–216. [PubMed]
25. Andreozzi, L.; Giannetti, A.; Cipriani, F.; Caffarelli, C.; Mastroilli, C.; Ricci, G. Hypersensitivity reactions to food and drug additives: Problem or myth? *Acta Biomed.* **2019**, *90*, 80–90.
26. Chung, K.; Baker, J.R., Jr.; Baldwin, J.L.; Chou, A. Identification of carmine allergens among three carmine allergy patients. *Allergy* **2001**, *56*, 73–77. [CrossRef]
27. Lemoine, A.; Pauliat-Desbordes, S.; Challier, P.; Tounian, P. Adverse reactions to food additives in children: A retrospective study and a prospective survey. *Arch. Pediatr.* **2020**, *27*, 368–371. [CrossRef]
28. Beaudouin, E.; Kanny, G.; Lambert, H.; Fremont, S.; Moneret-Vautrin, D.A. Food anaphylaxis following ingestion of carmine. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* **1995**, *74*, 427–430.
29. Greenhawt, M.J.; Baldwin, J.L. Carmine dye and cochineal extract: Hidden allergens no more. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* **2009**, *103*, 73–75. [CrossRef]
30. Kägi, M.K.; Wüthrich, B.; Johansson, S.G. Campari-Orange anaphylaxis due to carmine allergy. *Lancet* **1994**, *344*, 60–61. [CrossRef] [PubMed]
31. Takeo, N.; Nakamura, M.; Nakayama, S.; Okamoto, O.; Sugimoto, N.; Sugiura, S.; Sato, N.; Harada, S.; Yamaguchi, M.; Mitsui, N.; et al. Cochineal dye-induced immediate allergy: Review of Japanese cases and proposed new diagnostic chart. *Allergol. Int.* **2018**, *67*, 496–505. [CrossRef] [PubMed]
32. Wüthrich, B.; Kägi, M.K.; Stücker, W. Anaphylactic reactions to ingested carmine (E120). *Allergy* **1997**, *52*, 1133–1137. [CrossRef] [PubMed]
33. Yamakawa, Y.; Oosuna, H.; Yamakawa, T.; Aihara, M.; Ikezawa, Z. Cochineal extract-induced immediate allergy. *J. Dermatol.* **2009**, *36*, 72–74. [CrossRef]
34. Gultekin, F.; Doguc, D.K. Allergic and immunologic reactions to food additives. *Clin. Rev. Allergy Immunol.* **2013**, *45*, 6–29. [CrossRef]
35. Añibarro, B.; Seoane, J.; Vila, C.; Múgica, V.; Lombardero, M. Occupational asthma induced by inhaled carmine among butchers. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* **2003**, *16*, 133–137.
36. DiCello, M.C.; Myc, A.; Baker, J.R., Jr.; Baldwin, J.L. Anaphylaxis after ingestion of carmine colored foods: Two case reports and a review of the literature. *Allergy Asthma Proc.* **1999**, *20*, 377–382. [CrossRef]
37. Ohgiya, Y.; Arakawa, F.; Akiyama, H.; Yoshioka, Y.; Hayashi, Y.; Sakai, S.; Ito, S.; Yamakawa, Y.; Ohgiya, S.; Ikezawa, Z.; et al. Molecular cloning, expression, and characterization of a major 38-kd cochineal allergen. *J. Allergy Clin. Immunol.* **2009**, *123*, 1157–1162. [CrossRef]
38. FAO. Paprika Extract. Monograph 14. Prepared at the 77th JECFA 2013. Available online: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/monograph16/additive-510-m16.pdf (accessed on 14 September 2022).
39. Scientific Opinion. On the re-evaluation of paprika extract (E160c) as a food additive. In: EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). *EFSA J.* **2017**, *13*, 4320.
40. Akagi, A.; Sano, N.; Uehara, H.; Minami, T.; Otsuka, H.; Izumi, K. Non-carcinogenicity of capsaicinoids in B6C3F1 mice. *Food Chem. Toxicol.* **1998**, *36*, 1065–1071. [CrossRef]
41. Inoue, T.; Umemura, T.; Maeda, M.; Ishii, Y.; Okamura, T.; Tasaki, M.; Nishikawa, A. Safety assessment of dietary administered paprika color in combined chronic toxicity and carcinogenicity studies using F344 rats. *Food Chem. Toxicol.* **2008**, *46*, 2689–2693. [CrossRef]
42. Kanki, K.; Nishikawa, A.; Furukawa, F.; Kitamura, Y.; Imazawa, T.; Umemura, T.; Hirose, M. A 13-week subchronic toxicity study of paprika color in F344 rats. *Food Chem. Toxicol.* **2003**, *41*, 1337–1343. [CrossRef] [PubMed]
43. Bley, K.; Boorman, G.; Mohammad, B.; McKenzie, D.; Babbar, S. A comprehensive review of the carcinogenic and anticarcinogenic potential of capsaicin. *Toxicol. Pathol.* **2012**, *40*, 847–873. [CrossRef] [PubMed]
44. Chanda, S.; Erexson, G.; Riach, C.; Innes, D.; Stevenson, F.; Murli, H.; Bley, K. Genotoxicity studies with pure trans-capsaicin. *Mutat. Res.* **2004**, *557*, 85–97. [CrossRef] [PubMed]
45. Diaz Barriga Arceo, S.; Madrigal-Bujaidar, E.; Calderón Montellano, E.; Ramírez Herrera, L.; Díaz García, B.D. Genotoxic effects produced by capsaicin in mouse during subchronic treatment. *Mutat. Res.* **1995**, *345*, 105–109. [CrossRef]
46. Baskaran, P.; Krishnan, V.; Ren, J.; Thyagarajan, B. Capsaicin induces browning of white adipose tissue and counters obesity by activating TRPV1 channel-dependent mechanisms. *Br. J. Pharmacol.* **2016**, *173*, 2369–2389. [CrossRef]
47. Baskaran, P.; Markert, L.; Bennis, J.; Zimmerman, L.; Fox, J.; Thyagarajan, B. Assessment of Pharmacology, Safety, and Metabolic activity of Capsaicin Feeding in Mice. *Sci. Rep.* **2019**, *9*, 8588. [CrossRef]
48. Chapa-Oliver, A.M.; Mejía-Teniente, L. Capsaicin: From Plants to a Cancer-Suppressing Agent. *Molecules* **2016**, *21*, 931. [CrossRef]
49. Cho, S.C.; Lee, H.; Choi, B.Y. An updated review on molecular mechanisms underlying the anticancer effects of capsaicin. *Food Sci. Biotechnol.* **2017**, *26*, 1–13. [CrossRef]

50. Chung, Y.C.; Baek, J.Y.; Kim, S.R.; Ko, H.W.; Bok, E.; Shin, W.H.; Won, S.Y.; Jin, B.K. Capsaicin prevents degeneration of dopamine neurons by inhibiting glial activation and oxidative stress in the MPTP model of Parkinson's disease. *Exp. Mol. Med.* **2017**, *49*, 298. [CrossRef] [PubMed]
51. Höper, J.; Helfert, S.; Heskamp, M.L.; Maihöfner, C.G.; Baron, R. High concentration capsaicin for treatment of peripheral neuropathic pain: Effect on somatosensory symptoms and identification of treatment responders. *Curr. Med. Res. Opin.* **2014**, *30*, 565–574. [CrossRef]
52. Kim, C.S.; Kawada, T.; Kim, B.S.; Han, I.S.; Choe, S.Y.; Kurata, T.; Yu, R. Capsaicin exhibits anti-inflammatory property by inhibiting IkB- α degradation in LPS-stimulated peritoneal macrophages. *Cell. Signal.* **2003**, *15*, 299–306. [CrossRef] [PubMed]
53. Bázan-Lugo, E.; García-Martínez, I.; Alfaro-Rodríguez, R.H.; Totosaús, A. Color compensation in nitrite-reduced meat batters incorporating paprika or tomato paste. *J. Sci. Food Agric.* **2012**, *92*, 1627–1632. [CrossRef] [PubMed]
54. Kim, G.H.; Chin, K.B. Characteristics of low-nitrite pork emulsified-sausages with paprika oleoresin solution during refrigerated storage. *J. Anim. Sci. Technol.* **2021**, *63*, 394–404. [CrossRef] [PubMed]
55. Scientific Opinion. On the re-evaluation of beetroot red (E 162) as a food additive. In: EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). *EFSA J.* **2015**, *13*, 4318.
56. FAO. Beet Red. Monograph. Prepared at the 31st JECFA 1987. Available online: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/Monograph1/Additive-052.pdf (accessed on 14 September 2022).
57. Haveland-Smith, R.B. Evaluation of the genotoxicity of some natural food colours using bacterial assays. *Mutat. Res.* **1981**, *91*, 285–290. [CrossRef]
58. Reynoso, R.C.; Giner, T.V.; de Mejia, E.G. Safety of a filtrate of fermented garambullo fruit: Biotransformation and toxicity studies. *Food Chem. Toxicol.* **1999**, *37*, 825–830. [CrossRef]
59. Sadowska-Bartosz, I.; Bartosz, G. Biological Properties and Applications of Betalains. *Molecules* **2021**, *26*, 2520. [CrossRef]
60. von Elbe, J.H.; Schwartz, S.J. Absence of mutagenic activity and a short-term toxicity study of beet pigments as food colorants. *Arch. Toxicol.* **1981**, *49*, 93–98. [CrossRef]
61. Clifford, T.; Howatson, G.; West, D.J.; Stevenson, E.J. The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients* **2015**, *7*, 2801–2822. [CrossRef] [PubMed]
62. Esatbeyoglu, T.; Wagner, A.E.; Schini-Kerth, V.B.; Rimbach, G. Betanin—A food colorant with biological activity. *Mol. Nutr. Food Res.* **2015**, *59*, 36–47. [CrossRef] [PubMed]
63. Georgiev, V.G.; Weber, J.; Kneschke, E.M.; Denev, P.N.; Bley, T.; Pavlov, A.I. Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the red beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit dark red. *Plant Foods Hum. Nutr.* **2010**, *65*, 105–111. [CrossRef]
64. Gliszczyńska-Swigło, A.; Szymusiak, H.; Malinowska, P. Betanin, the main pigment of red beet: Molecular origin of its exceptionally high free radical-scavenging activity. *Food Addit. Contam.* **2006**, *23*, 1079–1087. [CrossRef]
65. Khan, M.I. Plant Betalains: Safety, Antioxidant Activity, Clinical Efficacy, and Bioavailability. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **2016**, *15*, 316–330. [CrossRef] [PubMed]
66. Lechner, J.F.; Stoner, G.D. Red Beetroot and Betalains as Cancer Chemopreventative Agents. *Molecules* **2019**, *24*, 1602. [CrossRef]
67. Zielińska-Przyjemska, M.; Olejnik, A.; Dobrowolska-Zachwieja, A.; Grajek, W. In vitro effects of beetroot juice and chips on oxidative metabolism and apoptosis in neutrophils from obese individuals. *Phytother. Res.* **2009**, *23*, 49–55. [CrossRef]
68. Gao, Y.; Liang, X.; Tian, Z.; Ma, Y.; Sun, C. Betalain exerts cardioprotective and anti-inflammatory effects against the experimental model of heart failure. *Hum. Exp. Toxicol.* **2021**, *40*, 16–28. [CrossRef]
69. Vieira Teixeira da Silva, D.; Dos Santos Baião, D.; de Oliveira Silva, F.; Alves, G.; Perrone, D.; Mere Del Aguila, E.; Paschoalin, V.M.F. Betanin, a Natural Food Additive: Stability, Bioavailability, Antioxidant and Preservative Ability Assessments. *Molecules* **2019**, *24*, 458. [CrossRef]
70. FAO. Caramel Colours. Monograph 11. Prepared at the 74th JECFA 2011. Available online: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/monograph11/additive-329-m11.pdf (accessed on 14 September 2022).
71. Scientific Opinion. On the re-evaluation of caramel colours (E 150 a,b,c,d) as food additives. In: EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). *EFSA J.* **2011**, *9*, 2004.
72. Adams, K.; Allen, J.A.; Brooker, P.C.; Jones, E.; Proudlock, R.J. Assessment of the genotoxic potential of Caramel Colour I in four short-term tests. *Food Chem. Toxicol.* **1992**, *30*, 397–402. [CrossRef] [PubMed]
73. Allen, J.A.; Brooker, P.C.; Jones, E.; Adams, K.; Richold, M. Absence of mutagenic activity in *Salmonella* and of clastogenic activity in CHO cells of Caramel Colours I, II, III and IV. *Food Chem. Toxicol.* **1992**, *30*, 389–395. [CrossRef] [PubMed]
74. Brusick, D.J.; Jagannath, D.R.; Galloway, S.M.; Nestmann, E.R. Genotoxicity hazard assessment of Caramel Colours III and IV. *Food Chem. Toxicol.* **1992**, *30*, 403–410. [CrossRef] [PubMed]
75. Houben, G.F.; Penninks, A.H. Immunotoxicity of the colour additive caramel colour III; a review on complicated issues in the safety evaluation of a food additive. *Toxicology* **1994**, *91*, 289–302. [CrossRef]
76. National Toxicology Program. Toxicology and carcinogenesis studies of 4-methylimidazole (Cas No. 822-36-6) in F344/N rats and B6C3F1 mice (feed studies). *Natl. Toxicol. Program Tech. Rep. Ser.* **2007**, *535*, 1–274.
77. Sengar, G.; Sharma, H.K. Food caramels: A review. *J. Food Sci. Technol.* **2014**, *51*, 1686–1696. [CrossRef]
78. Vollmuth, T.A. Caramel color safety—An update. *Food Chem. Toxicol.* **2018**, *111*, 578–596. [CrossRef]

79. Houben, G.F.; Abma, P.M.; van den Berg, H.; van Dokkum, W.; van Loveren, H.; Penninks, A.H.; Seinen, W.; Spanhaak, S.; Vos, J.G.; Ockhuizen, T. Effects of the colour additive caramel colour III on the immune system: A study with human volunteers. *Food Chem. Toxicol.* **1992**, *30*, 749–757. [CrossRef]
80. Hengel, M.; Shibamoto, T. Carcinogenic 4(5)-methylimidazole found in beverages, sauces, and caramel colors: Chemical properties, analysis, and biological activities. *J. Agric. Food Chem.* **2013**, *61*, 780–789. [CrossRef]
81. Jacobson, M.F. Carcinogenicity and regulation of caramel colorings. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* **2012**, *18*, 254–259. [CrossRef]
82. Liang, J.; Cao, P.; Wang, X.; Gao, P.; Xu, H.; Ma, N. Dietary intake assessment of caramel colours and their processing by-products 4-methylimidazole and 2-acetyl-4-tetrahydroxy-butylimidazole for the Chinese population. *Food Addit. Contam.* **2019**, *36*, 1009–1019. [CrossRef] [PubMed]
83. Giuliano, G.; Rosati, C.; Bramley, P.M. To dye or not to dye: Biochemistry of annatto unveiled. *Trends Biotechnol.* **2003**, *21*, 513–516. [CrossRef] [PubMed]
84. FAO. Annatto Extract (Solvent-Extracted Bixin). Monograph 17. Prepared at the 80th JECFA 2015. Available online: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/monograph17/additive-040-m17.pdf (accessed on 14 September 2022).
85. Younes, M.; Castle, L.; Engel, K.H.; Fowler, P.; Frutos Fernandez, M.J.; Fürst, P.; Gürtler, R.; Gundert-Remy, U.; Husøy, T.; Mennes, W.; et al. Safety of annatto E and the exposure to the annatto colouring principles bixin and norbixin (E 160b) when used as a food additive. In: EFSA Panel on Food Additives and Flavours (FAF). *EFSA J.* **2019**, *17*, 5626.
86. EFSA; Tard, A. Exposure assessment of annatto colouring principles bixin and norbixin (E 160b) when used as food additives. *EFSA J.* **2017**, *15*, 4966.
87. Agner, A.R.; Barbisan, L.F.; Scolastici, C.; Salvadori, D.M. Absence of carcinogenic and anticarcinogenic effects of annatto in the rat liver medium-term assay. *Food Chem. Toxicol.* **2004**, *42*, 1687–1693. [CrossRef]
88. Bautista, A.R.; Moreira, E.L.; Batista, M.S.; Miranda, M.S.; Gomes, I.C. Subacute toxicity assessment of annatto in rat. *Food Chem. Toxicol.* **2004**, *42*, 625–629. [CrossRef]
89. Júnior, A.C.; Asad, L.M.; Oliveira, E.B.; Kovary, K.; Asad, N.R.; Felzenszwalb, I. Antigenotoxic and antimutagenic potential of an annatto pigment (norbixin) against oxidative stress. *Genet. Mol. Res.* **2005**, *4*, 94–99.
90. Paumgartten, F.J.; De-Carvalho, R.R.; Araujo, I.B.; Pinto, F.M.; Borges, O.O.; Souza, C.A.; Kuriyama, S.N. Evaluation of the developmental toxicity of annatto in the rat. *Food Chem. Toxicol.* **2002**, *40*, 1595–1601. [CrossRef]
91. Scientific Opinion. On the safety of annatto extracts (E 160b) as a food additive. In: EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). *EFSA J.* **2016**, *14*, 4544.
92. Myles, I.A.; Beakes, D. An Allergy to Goldfish? Highlighting the Labeling Laws for Food Additives. *World Allergy Organ. J.* **2009**, *2*, 314–316. [CrossRef]
93. Ramsey, N.B.; Tuano, K.T.; Davis, C.M.; Dillard, K.; Hanson, C. Annatto seed hypersensitivity in a pediatric patient. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* **2016**, *117*, 331–333. [CrossRef]
94. Sadowska, B.; Sztormowska, M.; Chelmińska, M. Annatto hypersensitivity after oral ingestion confirmed by placebo-controlled oral challenge. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* **2021**, *127*, 510–511. [CrossRef]
95. Ebo, D.G.; Ingelbrecht, S.; Bridts, C.H.; Stevens, W.J. Allergy for cheese: Evidence for an IgE-mediated reaction from the natural dye annatto. *Allergy* **2009**, *64*, 1558–1560. [CrossRef] [PubMed]
96. Nish, W.A.; Whisman, B.A.; Goetz, D.W.; Ramirez, D.A. Anaphylaxis to annatto dye: A case report. *Ann. Allergy* **1991**, *66*, 129–131. [PubMed]
97. Randhawa, S.; Bahna, S.L. Hypersensitivity reactions to food additives. *Curr. Opin. Allergy Clin. Immunol.* **2009**, *9*, 278–283. [CrossRef] [PubMed]
98. Stein, H.L. Annatto and IBS. *J. Clin. Gastroenterol.* **2009**, *43*, 1014–1015. [CrossRef]
99. Beni, A.A.; Rodrigues, R.F.; Conte, L.; Costa, I.F.; Delalibera, É.A.; Roehrs, M.; Rampelotto, C.; Emanuelli, T.; Somacal, S. Dietary supplementation with annatto food-coloring extracts increases the resistance of human erythrocytes to hemolysis. *Nutr. Res.* **2020**, *76*, 71–81. [CrossRef]
100. Cuong, T.V.; Chin, K.B. Effects of Annatto (*Bixa orellana* L.) Seeds Powder on Physicochemical Properties, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Pork Patties during Refrigerated Storage. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* **2016**, *36*, 476–486. [CrossRef]
101. Zarringhalami, S.; Sahari, M.A.; Hamidi-Esfahani, Z. Partial replacement of nitrite by annatto as a colour additive in sausage. *Meat Sci.* **2009**, *81*, 281–284. [CrossRef]
102. Halagarda, M.; Wójciak, K.M. Health and safety aspects of traditional European meat products. A review. *Meat Sci.* **2022**, *184*, 108623. [CrossRef]
103. Halagarda, M.; Kędzior, W.; Pyrzyńska, E. Nutritional Value and Potential Chemical Food Safety Hazards of Selected Traditional and Conventional Pork Hams from Poland. *J. Food Qual.* **2017**, *2017*, 1–10. [CrossRef]
104. Halagarda, M.; Kędzior, W.; Pyrzyńska, E. Nutritional value and potential chemical food safety hazards of selected Polish sausages as influenced by their traditionality. *Meat Sci.* **2018**, *139*, 25–34. [CrossRef]
105. Crehan, C.M.; Hughes, E.; Troy, D.J.; Buckley, D.J. Effects of fat level and maltodextrin on the functional properties of frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. *Meat Sci.* **2000**, *55*, 463–469. [CrossRef]
106. Hughes, E.; Cofrades, S.; Troy, D.J. Effects of fat level, oat fibre and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. *Meat Sci.* **1997**, *45*, 273–281. [CrossRef]

107. Youssef, M.K.; Barbut, S. Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters. *Meat Sci.* **2009**, *82*, 228–233. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
108. Sariçoban, C.; Yılmaz, M.T. Modelling the Effects of Processing Factors on the Changes in Colour Parameters of Cooked Meatballs Using Response Surface Methodology. *World Appl. Sci. J.* **2010**, *9*, 14–22.
109. Słowiński, M.; Miazek, J.; Dasiewicz, K.; Chmiel, M. The Effect of the Addition of Fiber Preparations on the Color of Medium-Grounded Pasteurized and Sterilized Model Canned Meat Products. *Molecules* **2021**, *26*, 2247. [[CrossRef](#)]
110. Barbut, S.; Wood, J.; Marangoni, A. Potential use of organogels to replace animal fat in comminuted meat products. *Meat Sci.* **2016**, *122*, 155–162. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
111. Islam, M.A.; Amin, M.N.; Siddiqui, S.A.; Hossain, M.P.; Sultana, F.; Kabir, M.R. Trans fatty acids and lipid profile: A serious risk factor to cardiovascular disease, cancer and diabetes. *Diabetes Metab. Syndr.* **2019**, *13*, 1643–1647. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
112. Babji, A.S.; Nuri, M.N.; Suherman, J.; Seri Chempaka, M.Y. Quality assessment of local and franchise beef and chicken burgers. *Pertanika J. Trop. Agric.* **2000**, *23*, 103–112.
113. Downham, A.; Collins, P. Colouring our foods in the last and next millennium. *Int. J. Food Sci.* **2000**, *35*, 5–22. [[CrossRef](#)]
114. Wideman, N.; O'bryan, C.A.; Crandall, P.G. Factors affecting poultry meat colour and consumer preferences-A review. *Worlds Poult. Sci. J.* **2016**, *72*, 353–366. [[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.



Assessment of dietary exposure to food additives used in Polish processed meat products

Katarzyna Czech-Załubka, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, Anna Didkowska, Joanna Zarzyńska & Krzysztof Anusz

To cite this article: Katarzyna Czech-Załubka, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, Anna Didkowska, Joanna Zarzyńska & Krzysztof Anusz (2023) Assessment of dietary exposure to food additives used in Polish processed meat products, Food Additives & Contaminants: Part A, 40:11, 1389-1411, DOI: [10.1080/19440049.2023.2258994](https://doi.org/10.1080/19440049.2023.2258994)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/19440049.2023.2258994>



© 2023 The Author(s). Published with license by Taylor & Francis Group, LLC.



Published online: 21 Sep 2023.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 1082



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)



Citing articles: 1 View citing articles [↗](#)



Assessment of dietary exposure to food additives used in Polish processed meat products

Katarzyna Czech-Zalubska^a , Daniel Klich^b, Agnieszka Jackowska-Tracz^a, Anna Didkowska^a, Joanna Zarzyńska^a and Krzysztof Anusz^a

^aDepartment of Food Hygiene and Public Health Protection, Institute of Veterinary Medicine, Warsaw University of Life Sciences (SGGW), Warsaw, Poland; ^bInstitute of Animal Sciences, University of Life Sciences – SGGW, Warsaw, Poland

ABSTRACT

Dietary exposure assessments have been performed for nitrites, phosphates, erythorbic acid, and sodium erythorbate in processed meat in Poland. The exposure has been estimated based on the maximum level of use of additives contained in Regulation - tier 2 and the concentration of additives in processed meat - tier 3, additionally for nitrites. Daily intake was estimated using 24-h recall, repeated three times. Exposure analyses were correlated with the frequency of occurrence of food additives based on label analysis (tiers 2a and 3a). The mean nitrite intake from processed meat at tier 2 was 0.1 mg/kg bw (143% ADI), 0.08 mg/kg bw (118% - ADI) at tier 2a, 0.03 mg/kg bw (43% - ADI) at tier 3, and 0.026 mg/kg bw (37% - ADI) at tier 3a. The mean intakes of phosphate and erythorbic acid/sodium erythorbate from processed meat were 3.26 and 0.54 mg/kg bw (8.2% and 9% - ADI), respectively at tier 2. None of the respondents exceeded the ADIs for phosphates or erythorbic acid/sodium erythorbate. In contrast, nitrite consumption is of great concern because of significant ADI exceedances, particularly among young children.

ARTICLE HISTORY

Received 25 May 2023
Accepted 7 September 2023

KEYWORDS

erythorbic acid; exposure assessment; nitrite; phosphates sodium erythorbate

Introduction

Analyses of global data show that meat consumption has continuously increased from approximately 30 kg per capita per year in 1980 to 41 kg per capita per year in 2005 (Rohrmann and Linseisen 2016), and to approximately 47 kg per capita per year in 2013 ([FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations 2013). Then there was a decrease in its consumption and in 2020 ([FF] FoodFakty 2021), the average global meat consumption was 33.7 kg per capita. However, according to FAO forecasts, global meat consumption per capita is projected to increase to 35.4 kg in 2030 (FAO 2021). This is due to both the steady increase in the production and consumption of meat and processed meat products in developing countries and stagnation in this respect observed in developed countries

(Speedy 2003; Thornton 2010; Godfray et al. 2018).

Meat is processed to extend the shelf life of food, as well as to improve its organoleptic characteristics such as taste, colour, texture, and consistency (Rohrmann and Linseisen 2016). From 1990–2010, the mean global consumption of processed meat remained stable at 13.7 grams per capita per day. The amounts of consumption differed considerably depending on the region of the world, ranging from 4.1 g per capita per day in East Asian countries and 4.4 g per capita per day in North African and Middle Eastern countries to 32.2 g per capita per day in Central European countries, 36.4 g per person per day in North America, and 44.4 g per person per day in Central Latin American countries. Among the countries with the highest levels of processed meat consumption, Poland was in third position,

CONTACT Katarzyna Czech-Zalubska katarzyna_czech_zalubska@sggw.edu.pl Department of Food Hygiene and Public Health Protection, Institute of Veterinary Medicine, Warsaw University of Life Sciences (SGGW), Nowoursynowska 166, Warsaw, Poland

© 2023 The Author(s). Published with license by Taylor & Francis Group, LLC.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), which permits non-commercial re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited, and is not altered, transformed, or built upon in any way. The terms on which this article has been published allow the posting of the Accepted Manuscript in a repository by the author(s) or with their consent.

after Panama and Latin American countries, with consumption reaching 48.8 g per capita per day (Micha et al. 2015). This is influenced by consumer preferences that result from cultural, social, and economic differences and habits (Speedy 2003; Godfray et al. 2018).

Additives play an important role in meat processing, and are used in processed meats for safety, technological reasons as well as for increasing the shelf life of the products. This study estimated the intake of three groups of food additives (nitrites, phosphates, and sodium erythorbate and erythorbic) used in meat products and meat preparations, *i.e.* processed meat, consumed by adults and children in Poland.

Materials and methods

The assessment of risk to nitrites, phosphates, and sodium erythorbate and erythorbic acid from meat products and meat preparations (division according to the definitions provided in Regulation No. 853/2004 (EC) ([EC] European Commission 2004)) in Poland was carried out comparing the acceptable daily intake (ADI) (established by the European Food Safety Authority (EFSA) Panel) with the exposure calculated as the maximum levels of food additives that can be used in food categories 8.2 (Meat preparations) and 8.3 (Meat products) (EU 2008) and multiplied by the mean intake of the food representing the abovementioned categories over three days and divided by body weight (tier 2). In the case of nitrites, these values were then correlated based on the frequency of occurrence of a particular food additive in specific assortment groups (tier 2a). Additional calculations were made for tier 3, including the actual concentrations of nitrites found in cured meat products reported in the literature, along with their occurrence frequencies (tier 3a) and considering 5% and 20% conversion (tiers 3b and 3b', respectively).

Occurrence frequency

The assortments belonging to food categories 8.2 and 8.3 (EU 2008) were found in selected stores, and the food additives used in their production were identified based on the labels.

Sampling was carried out in the following retail chain stores: Biedronka (Jerónimo Martins Polska), Lidl (FRF Beteiligungs GmbH), Eurocash (a group of associated stores such as Lewiatan, Groszek, and Delikatesy Centrum), and Auchan and Kaufland chain stores, *i.e.* those for which the total revenues for 2018 represented the largest market share ([MF] Ministry of Finance and Poland 2019). The Tesco chain store was excluded from the analysis in favour of the Kaufland chain store when the company announced the closing of its retail markets and withdrawal from Poland.

Seventeen Polish cities were selected for the study, including 11 with the largest populations, *i.e.* more than 250,000 inhabitants (Statistics Poland 2018), as well as six smaller cities.

The material for the analysis comprised photos of item labels of meat preparations and meat products taken in randomly selected supermarkets as representative of the above chain stores in each of the above-mentioned cities, provided that the chain stores that qualified for the study had their branches there. The analysis included 12,333 product labels available on the shelves of 75 stores in 17 Polish cities on the survey days.

Based on the definition in Regulation No. 853/2004 and assortment descriptions on the labels and images of the products, the assortments were divided into two categories: meat preparations and meat products ([EC] European Commission 2004). The analysis identified 1967 unique assortments that belonged to these two categories.

Due to the many products with different characteristics classified into the second category, meat products were further divided into four groups (smoked meats, sausages, offal meat, and other meat products) due to the different nature of the products and the production technology. Thus, these four groups and the meat preparations category allowed us to create five main groups for the analysis. To better assess consumption, the five main groups were further divided into 20 assortment groups consisting of products with similar images and characteristics. A detailed breakdown of selected products is presented in Figure 1.

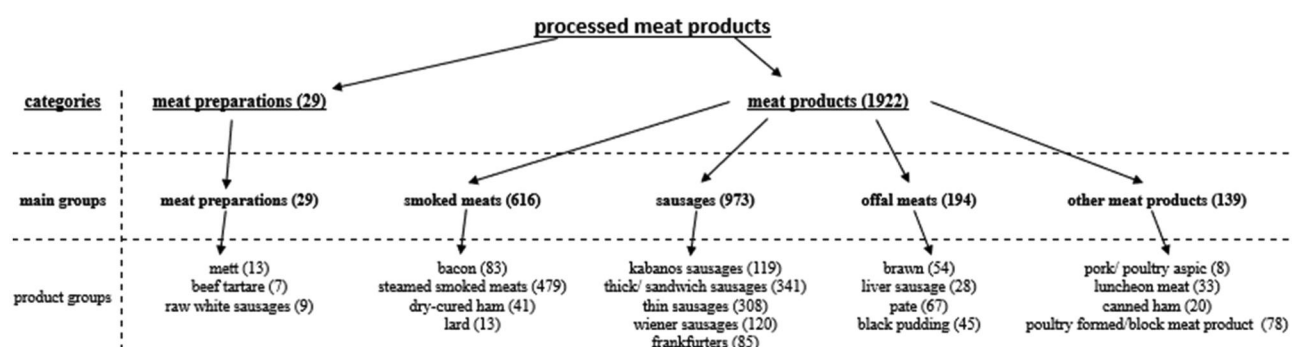


Figure 1. Division of selected processed meat products into groups.

The products were assigned to 20 assortment groups. Owing to the impossibility of assigning 16 products to specific assortment groups, they were excluded from further analyses. The frequency of occurrence of food additives was calculated in each group (Diouf et al. 2014). Because of the wide variety of products in the assortment groups, some were divided into subgroups, and the division criterion was the product's name. Thus, a total of 55 subgroups were established for the analysis.

Consumption amount

Information on the consumption of products belonging to each of the 55 subgroups was collected based on data obtained from a 24-h recall. The respondents reported the amounts and types of processed meat they had consumed throughout the previous day by answering 78 questions included in a dietary questionnaire, which was repeated three times to obtain information on inter-individual variability (Löwik 1996; Salvador Castell et al. 2015). The survey was prepared specifically for research purposes in the electronic version through Microsoft Forms, so it was available online. According to the survey instructions, data entry for groups of children and the elderly was entered by their parents or other household members. To ensure anonymity in the first question, the respondents were asked to provide a self-created login that allowed them to link subsequent answers. The next six questions referred to the sociodemographic characteristics of the respondents, *i.e.* their weight, sex, age, educational level, place of residence,. Each respondent was asked to answer 20 questions regarding the

selected assortment groups. In the case of an affirmative answer indicating the consumption of an item from a particular group, the respondent was asked one to three questions detailing the amount consumed in grams and, in selected cases, the subgroup. The questionnaire also included an open-ended question with the option to provide information on the consumption of assortments that were not classified into any of the above 20 groups. The portion size was estimated based on photos showing examples of products belonging to each of the surveyed groups, including a certain weight, considering several variants of the serving portion size. The presentation of the products and 13 of the 21 photos included in the survey were taken from the Szponar et al. (2020) publication 'Album fotografii produktów i potraw' (a photo album presenting products and dishes). The authors took the remaining eight photographs.

The adult respondents invited to participate in the survey were students, friends, or families of students and academic staff; employees of local veterinary inspectorates and agricultural cooperatives; and persons actively engaged in sports, *i.e.* participants of two running events. Young people were recruited through non-government organisations for children aged 7–18 years. Those in the oldest age group were recruited from among the household members of adults participating in the survey and from those meeting at a local senior's club. Answers to questions referring to younger children were provided by their parents, participants in the survey, or parents of children belonging to two sports clubs. Information regarding participation in the survey was also posted on social media. The analyses included only respondents who completed

three full 24-h recalls, *i.e.* 632 out of the 847 who took part in the survey.

Exposure to nitrites, phosphates, and sodium erythorbate and/or erythorbic acid

Based on data on meat product supply, combined with values for the maximum levels of use of food additives in correlation with their occurrence frequency in the assortment groups (tier 2a) (Diouf et al. 2014) or absence (tier 2) ([EC] European Commission 2001), we were able to estimate the dietary exposure to nitrites, phosphates, and sodium erythorbate and/or erythorbic acid for mean and high-level consumers by age and gender.

Dietary exposure to food additives at tier 2 was calculated by multiplying the permitted levels for nitrite, phosphates, and sodium erythorbate and/or erythorbic acid, respectively, for each assortment group by the amount of food consumed from each assortment group. The values from all the groups were then summed and further divided by each person's body weight to obtain the individual total daily exposure. The daily exposure estimates were averaged over a period of three days (*i.e.* the duration of the study), which allowed us to determine the individual mean exposure. The calculations were based on the individual weight of each respondent, meaning that for those who did not report their weight, the weight estimation was based on the mean weight of individuals of the same sex belonging to the same age group.

For tier 2, it was assumed that a food additive was used for all assortments in the group. In subsequent analyses, it was considered that not all manufacturers apply every food additive approved for use in food category 8. Therefore, based on the analyses, the calculations were adjusted for the frequency of food additive occurrence in specific assortment groups (tier 2a). However, in the case of phosphates, and sodium erythorbate and/or erythorbic acid, the analysis of tier 2 showed that exposure to them is significantly below the ADI; therefore, the tier 2a analysis was waived for those food additives.

Considering the numerous ADI exceedances for nitrites at tiers 2 and 2a, to properly estimate

the exposure, it was necessary to analyse their concentrations based on the available literature data on nitrite levels in processed meat (Michalski 1996a, 1996b, 1997a, 1997b, 1997c, 1998; Skrajnowska et al. 2004). Details on nitrite content in meat products are provided in [Appendix 1](#). The concentration was expressed in milligrams per kilogram of product, which was multiplied by each respondent's mean intake in grams per day and divided by their body weight in kg (tier 3). In further analyses, these values were adjusted for the frequency of occurrence of the food additive in specific assortment groups (tier 3a). The analysis also included the conversion of nitrates into nitrites, which mainly occurs in the oral cavity. It is estimated that typically 5%–7% of ingested nitrates are converted to nitrites by bacteria normally found in the oral cavity. However, this percentage can increase significantly to 20% in individuals with high conversion rates ([FAO.WHO] Food and Agriculture Organisation of the United Nations. World Health Organization 2003; [EFSA] European Food Safety Authority 2008). In order to calculate the conversion value of nitrates to nitrites, dietary exposure to nitrates from meat products had to be estimated. It was done by multiplying the permitted levels of nitrate for each assortment group by individual consumption data. The values from all the groups were then summed and further divided by body weight. These exposure estimates were then averaged over three days. Nitrate to nitrite conversion factors of 5% and 20% were applied in the calculations for tiers 3b and 3b', respectively.

Factors that may affect exposure to a) nitrites, b) phosphates, and c) sodium erythorbate and erythorbic acid were also statistically assessed. The exposure to all three additives was calculated for tier 2 and analysed separately. In addition, the exposure of nitrites to the tiers 2a, 3 and 3a was analysed.

Eight generalised linear models were planned to be built, and in each of them, the dependent variable was exposure to a given food additive calculated as tier 2, tier 2a, and additionally on tier 3 and tier 3a for nitrites, expressed in mg/kg of the respondent's body weight per day. Finally, four generalised linear models were built only for

nitrites on tier 2, 2a, and tier 3, 3a. Because the exposure to phosphates and, sodium erythorbate, and erythorbic acid were far below the ADI, building models for them was abandoned.

Four explanatory variables were included in each model: sex, age (age group), place of residence, and education. In addition, the models included the interaction of sex and age with the other variables: sex $\times$ age, sex $\times$ education, sex $\times$ place of residence, age $\times$ education, and age $\times$ place of residence. The composition of the final model was determined by model selection based on the value of the AIC (Akaike Information Criterion), where all variants of the model (including the null model) were considered (Burnham and Anderson 2002). The model with the lowest AIC value was selected.

For nitrites, we developed two binary models in which the dependent variable was a comparison of the additive consumed to a reference value, that is, each case where consumed additive exceeded the norm was marked as 1 and each case where consumed additive did not exceed the norm was marked as 0. All the explanatory variables mentioned above (and interaction variants) were included. Because of the number of positive cases, the models were developed only for tiers 2 and 2a. Model selection was performed in the same manner.

Results

Occurrence frequency

More than 83.4% of the processed meat products contained nitrites (1628 products), over 36.1% contained phosphoric acid or phosphates (704 products), and approximately 39.8% contained erythorbic acid and/or sodium erythorbate (777 assortments). The most common food additive found in processed meat products available on the Polish market is sodium nitrite (E250). The frequency of nitrite occurrence in each group was estimated based on an analysis of the labels collected for the study. Significant differences were observed between the individual groups, and 100% of the assortments belonging to the groups of aspic and mett (raw-meat sausage) contained nitrites. A very high level of occurrence frequency of nitrites was also observed for bacon, brawns, and luncheon

meat. However, the results also showed that it is possible to produce meat products without nitrites. The abovementioned food additives were least frequently used in raw white sausages (only one from nine products identified on the market contained nitrites), as well as black puddings, pâtés, and lard.

Phosphates, *i.e.* phosphoric acid (E 338), sodium phosphates (E 339), potassium phosphates (E 340), calcium phosphates (E 341), magnesium phosphates (E 343), diphosphates (E 450), triphosphates (E 451), and polyphosphates (E 452), are approved for use in food category 8.3 – meat products, whereas it is forbidden to use them in meat preparations, apart from certain exceptions. None of the assortments identified during the analysis were among the exceptions specified in Regulation 1333/2008 ([EC] European Commission 2008). Food additives are most often used in the production of canned ham, aspics, and luncheon meat. In contrast, none of the manufacturers used them to produce lard or dry-cured ham.

Erythorbic acid and sodium erythorbate are permitted for use in food category 8.3, *i.e.* meat products; however, they are not authorised for use in food category 8.2, *i.e.* meat preparation. An analysis of the data presented on the allowed to estimate the frequency of occurrence of E315 and/or E316 in particular assortment groups. They were found to occur far less frequently in meat products than nitrites, and in the case of 627 assortments, the use of erythorbic acid and/or sodium erythorbate in production was associated with the use of nitrites approximately 80.7% of processed meats containing E315 and E316 also contained sodium or potassium nitrite. The highest frequencies of sodium erythorbate and/or erythorbic acid were found in steamed smoked meat, luncheon meat, and aspics. The lowest frequency of their use was observed in the black pudding, lard, and dry-cured ham groups.

The detailed data on the occurrence frequency of the three groups of additives discussed are presented in Table 1.

Consumption

Of the 632 respondents who completed the questionnaire three times, 50 declared that they were

Table 1. Occurrence frequency of nitrites (E249–E250), phosphates (E 338–341, E 343, and E 450–452), erythorbic acid (E315) and sodium erythorbate (E316) in different processed meat assortment groups from Polish market.

Food category	Technological group	Assortment group	E249–E250			E 338–341, E 343, and E 450–452			E315–E316		
			Number of food items in this group	Number of food items containing the additive in this group	Percentage of food items with the food additive in this category	Number of food items containing the additive in this group	Percentage of food items with the food additive in this category	Number of food items containing the additive in this group	Percentage of food items with the food additive in this category	Number of food items containing the additive in this group	Percentage of food items with the food additive in this category
8.2	Meat preparations	Beef tartare	7	6	85.71%	0	0%	0	0%	0	0%
8.2	Meat preparations	Mett	13	13	100.00%	0	0%	0	0%	0	0%
8.2	Meat preparations	Raw white sausage	9	1	11.11%	0	0%	0	0%	0	0%
8.3	Meat preparations	Liver sausage	28	23	82.14%	7	25.00%	5	17.86%	5	17.86%
8.3	Offal meats	Brawn	54	53	98.15%	24	44.44%	21	38.89%	21	38.89%
8.3	Offal meats,	Black pudding	45	12	26.67%	2	4.44%	4	8.89%	4	8.89%
8.3	Offal meats,	Pate	67	23	34.33%	4	5.97%	12	17.91%	12	17.91%
8.3	Other meat products	Canned ham	20	18	90.00%	17	85.00%	7	35.00%	7	35.00%
8.3	Other meat products	Luncheon meat	33	31	93.94%	21	63.64%	17	51.52%	17	51.52%
8.3	Other meat products	Pork/ poultry aspic	8	8	100.00%	6	75.00%	4	50.00%	4	50.00%
8.3	Other meat products	Poultry formed/block meat product	78	66	84.62%	42	53.85%	31	39.74%	31	39.74%
8.3	Sausages	Frankfurters	85	65	76.47%	37	43.53%	21	24.71%	21	24.71%
8.3	Sausages	Kabanos sausage	119	108	90.76%	12	10.08%	20	16.81%	20	16.81%
8.3	Sausages	Thick/ sandwich sausage	341	307	90.03%	76	22.29%	118	34.60%	118	34.60%
8.3	Sausages	Thin sausage	308	265	86.04%	113	36.69%	116	37.66%	116	37.66%
8.3	Sausages	Wiener sausage	120	96	80.00%	44	36.67%	43	35.83%	43	35.83%
8.3	Smoked meats	Bacon	83	82	98.80%	48	57.83%	37	44.58%	37	44.58%
8.3	Smoked meats,	Dry-cured ham	41	26	63.41%	0	0.00%	2	4.88%	2	4.88%
8.3	Smoked meats,	Lard	13	5	38.46%	0	0.00%	1	7.69%	1	7.69%
8.3	Smoked meats,	Steamed smoked meat	479	420	87.68%	251	52.40%	318	66.39%	318	66.39%

Table 2. Processed meat consumption by gender and age groups.

Age group	Gender	Number of individuals in the group (N)	Median (g/day)	Mean (SD) (g/day)	Median (g/kg per day)	Mean (SD) (g/kg per day)
up to 6 years	Total	30	28.33	30.87	1.46	1.51
	Women	13	30.00	32.95	1.42	1.66
	Men	17	26.67	29.27	1.57	1.40
7–12 years	Total	30	23.33	26.89	0.63	0.76
	Women	10	20.83	21.67	0.60	0.65
	Men	20	28.33	29.50	0.76	0.82
12–17 years	Total	12	58.50	58.58	1.04	0.96
	Women	5	27.00	34.20	0.42	0.58
	Men	7	83.33	76.00	1.50	1.24
18–20 years	Total	36	23.33	28.58	0.40	0.42
	Women	29	20.00	26.00	0.34	0.39
	Men	7	36.67	39.29	0.48	0.52
21–24 years	Total	85	20.00	38.54	0.36	0.52
	Women	70	20.00	29.33	0.34	0.43
	Men	15	45.00	81.56	0.55	0.95
25–34 years	Total	136	36.67	49.08	0.50	0.65
	Women	96	32.50	37.72	0.49	0.54
	Men	40	55.00	76.36	0.63	0.91
35–44 years	Total	147	36.67	42.20	0.49	0.56
	Women	93	30.00	36.40	0.46	0.53
	Men	54	40.00	52.18	0.49	0.61
45–54 years	Total	88	30.00	52.80	0.39	0.62
	Women	51	23.33	31.05	0.33	0.43
	Men	37	50.00	82.79	0.53	0.89
55–64 years	Total	37	50.83	98.55	0.67	1.17
	Women	18	34.17	49.64	0.51	0.66
	Men	19	66.67	144.88	0.83	1.65
65 years and over	Total	31	73.33	82.25	0.88	0.99
	Women	15	60.00	62.50	0.86	0.85
	Men	16	85.00	100.77	0.99	1.13

vegetarians or did not eat meat during the survey period. The mean daily consumption of meat products and meat preparations per capita in Poland ranges from 3 to 615 g/day, and these values vary by age group (Table 2).

Higher consumption of processed meat was found in all male age groups, with the exception of the group of children under the age of six, for which it was higher among females. The group of adolescents aged 12–17 years was characterised by higher consumption than that of younger children and adults up to 65 years of age. The group with the highest mean consumption of processed meat was adults aged >65 years. The survey indicated that, compared to other groups, Polish people with a high school education consumed less meat, as did those living in cities with up to 500,000 residents. The detailed data are shown in Figures 2 and 3.

The group that included steamed smoked meat was the most commonly consumed type of cold cut, accounting for approximately 26.5% of total processed meat consumption. Wiener sausages accounted for approximately 14.5% of processed meat consumption, whereas thin and thick sausages accounted

for 9.3% and 7.7%, respectively. Meat preparations were consumed the least frequently, and their share ranged from 0.15%–1.5%, and together, they did not exceed 3% of the total processed meat consumption. The results are summarised in Figure 4.

Exposure to nitrites

Based on the collected data, the mean intake of nitrites from processed meat was estimated to be 0.1 mg/kg body weight (*i.e.* 143% of the ADI) for tier 2 and 0.08 mg/kg body weight (*i.e.* 118% of the ADI) for tier 2a. After taking into account historical data on nitrite concentrations in each assortment group, the exposure was 0.03 mg/kg bw (*i.e.* 43% of the ADI) at tier 3 and 0.026 mg/kg bw (*i.e.* 37% of the ADI) at tier 3a. A 5% conversion of nitrates in processed meat did not result in any changes in the level of exposure. For consumers with high conversion (20%), the mean nitrite consumption increased by less than 1%. Therefore, the effect of converting nitrates from processed meat to nitrites was considered insignificant and omitted from further analyses. The study showed marked differences in nitrite consumption between

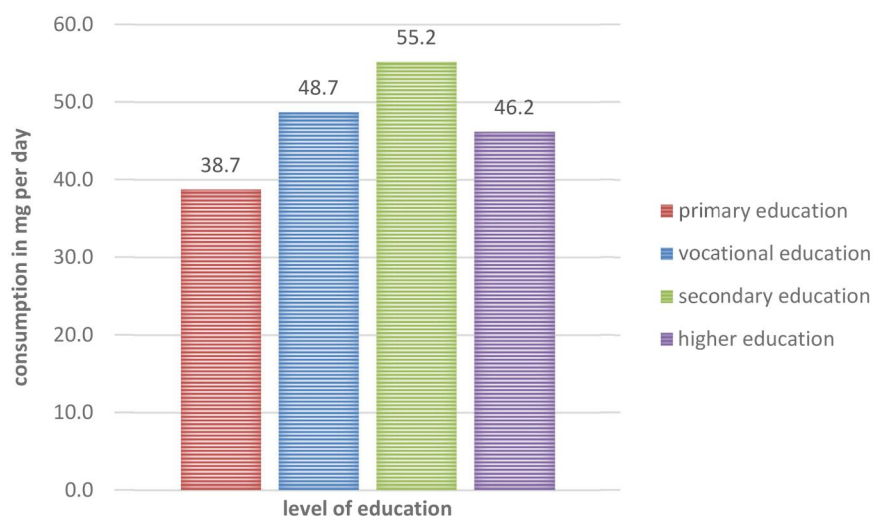


Figure 2. Consumption of processed meat by the level of education.

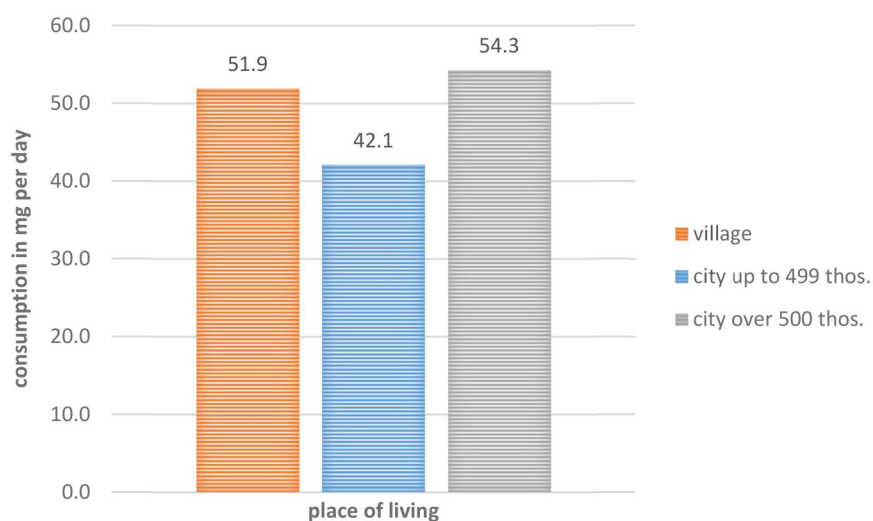


Figure 3. Consumption of processed meat by place of residence.

men and women, with the former consuming nearly twice as much nitrite as the latter, regardless of the assessment level. The detailed data are shown in [Figure 5](#). A higher percentage of ADI exceedance was observed in men.

[Table 3](#) present a summary of the results of the mean daily consumption, the median of intake (p50) and nitrite consumption for high-level consumers (p95) in mg/kg bw/day, and the percentage of the ADI by age group, educational level, and place of residence.

In total, 53.48% of consumers exceeded the ADI of nitrites after consuming only processed meat products at tier 2 and 41.3% at tier 2a; however, at tiers 3, 3a, and 3b, the exceedances were lower, ranging from 4.9% to 8.2%. Among those exceeding the ADI at tier 3, the highest percentages were found in children aged 0–6 years (43.3%). This group was followed by the elderly in advanced old age over 65 years (12.9%), older adults aged 55–64 years (21.6%), and children aged 7–11 years (10%). Additionally,

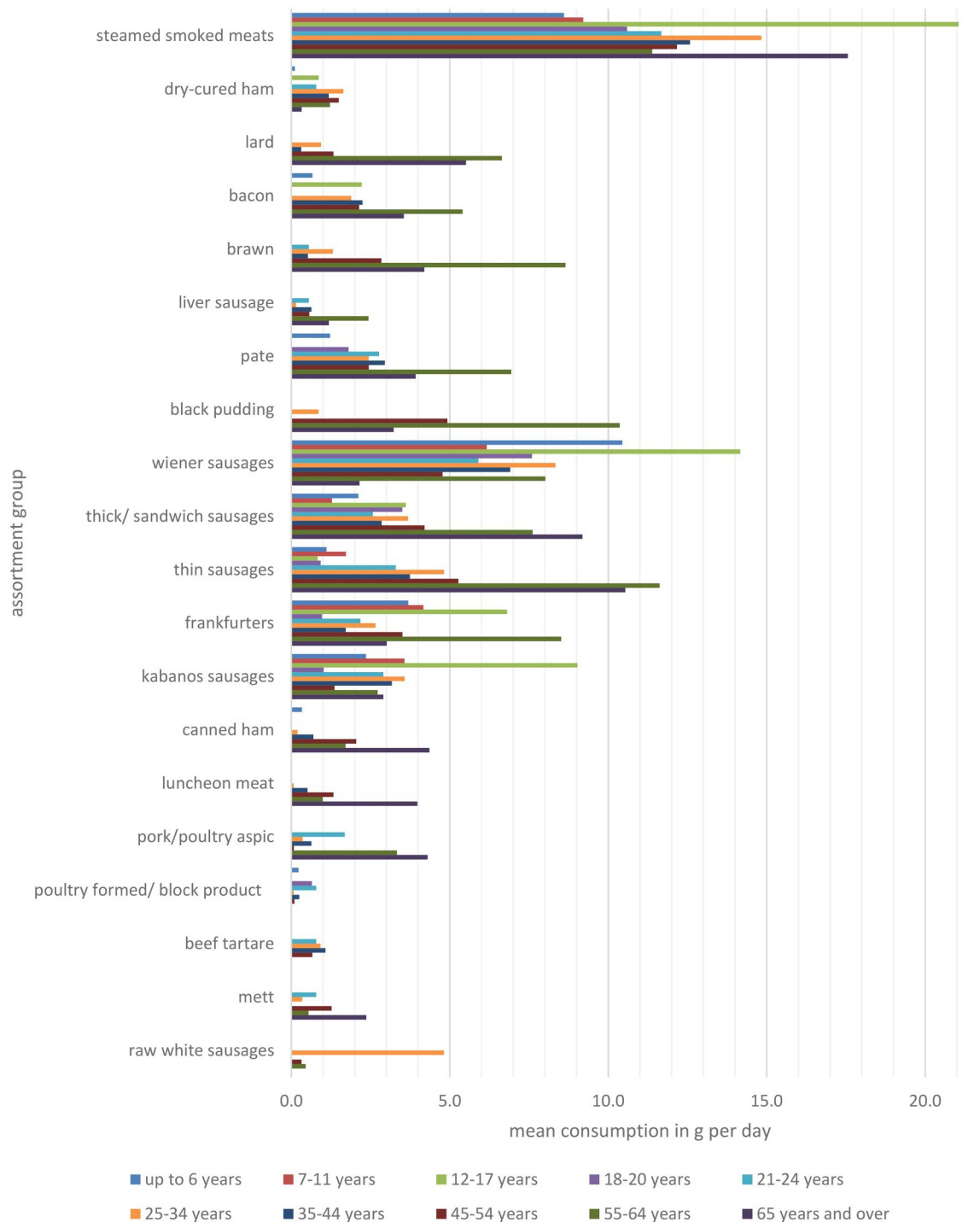


Figure 4. Mean consumption of assortments in particular groups by age.

more individuals with primary and vocational education than those with secondary or higher education exceeded the ADI score.

Irrespective of the tier (tier 3, or 3a), sex, age, education, and place of residence had a significant impact on the exposure to nitrites per kg of body weight. Regarding interactions, education in

connection with age and sex also significantly affected exposure to nitrite. However, the place of residence or level of education did not significantly affect the exceedance of the nitrite ADI. Sex and age were the main factors influencing ADI exceedance.

The detailed data on dietary exposure to nitrites from processed meat products at tiers 2,

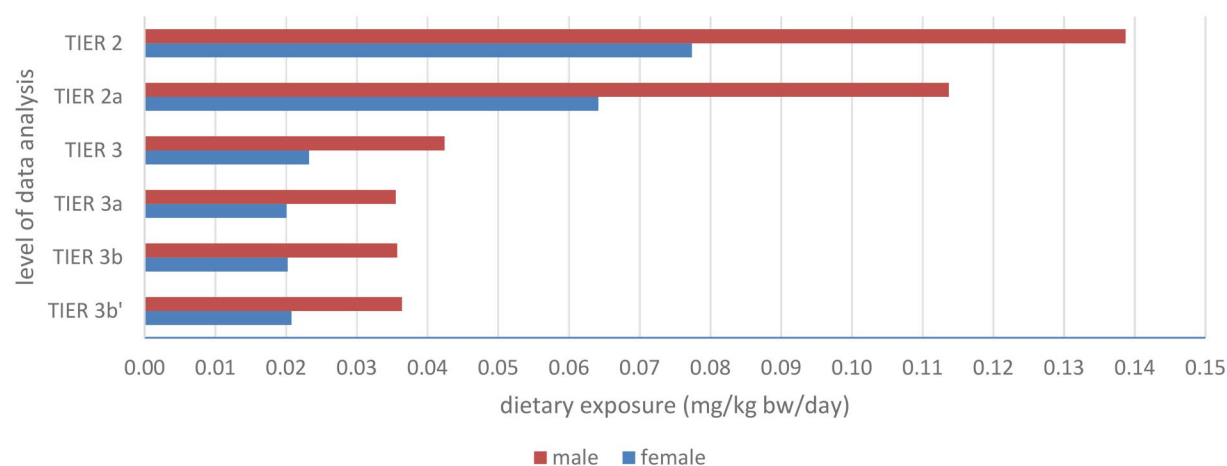


Figure 5. Dietary exposure to nitrites from processed meat products by gender.

Table 3. Dietary exposure to nitrites from processed meat products by age groups, education level and place of residence.

Dietary exposure		Approach	Mean Exposure (mg/ kg bw per day)	Median Exposure (mg/ kg bw per day)	Exposure For high-level Consumers (mg/ kg bw per day)	Percentage adi		
						mean	median	exposure for high-level consumers
Age groups	Children (0–17)	tier 3	0.050	0.047	0.104	71.2%	66.7%	148.1%
		tier 3a	0.043	0.039	0.091	61.0%	55.3%	130.0%
	Young adults (18–24)	tier 3	0.021	0.016	0.061	29.6%	22.3%	87.8%
		tier 3a	0.018	0.014	0.055	25.9%	20.2%	78.4%
	Adults (25–44)	tier 3	0.026	0.021	0.069	36.7%	30.1%	98.0%
		tier 3a	0.022	0.018	0.053	31.7%	26.1%	76.3%
Education level	Older adults (≥45)	tier 3	0.037	0.024	0.121	52.9%	34.1%	172.6%
		tier 3a	0.030	0.021	0.087	43.2%	29.9%	123.7%
	Primary and vocational	tier 3	0.057	0.048	0.157	82.0%	67.9%	224.3%
		tier 3a	0.047	0.039	0.118	67.6%	55.3%	168.4%
	Secondary	tier 3	0.023	0.023	0.065	33.4%	33.4%	93.5%
		tier 3a	0.020	0.015	0.056	28.8%	21.7%	80.1%
Place of residence	Higher	tier 3	0.025	0.020	0.063	35.8%	28.6%	90.4%
		tier 3a	0.022	0.017	0.052	30.9%	24.2%	74.3%
	Village	tier 3	0.038	0.026	0.103	54.9%	36.4%	146.9%
		tier 3a	0.032	0.023	0.090	46.3%	32.3%	129.1%
	City up to 499 thos.	tier 3	0.030	0.023	0.080	43.0%	33.4%	113.7%
		tier 3a	0.026	0.021	0.067	36.5%	29.9%	95.6%
	City over 500 thos.	tier 3	0.023	0.017	0.080	32.5%	25.0%	113.7%
		tier 3a	0.019	0.015	0.051	27.9%	21.2%	73.2%

2a, 3b, 3b' and participant variables by the level of intake at tiers 2 and 2a are presented in [Appendix 2](#), while for tiers 3 and 3a in [Table 4](#).

Exposure to phosphates

Based on individual consumption data and maximum levels of use specified in the regulations ([EC] European Commission 2008), the mean intake of phosphates from processed meat at tier 2 was estimated to be 3.26 mg/kg bw (8.2% of the ADI). Furthermore, none of the respondents exceeded the ADI levels for phosphate based on their individual consumption. The differences in dietary exposure to phosphates according to age, educational level, and place of residence are shown in [Table 5](#).

Exposure to sodium erythorbate and/or erythorbic acid

Based on the collected data on individual consumption and maximum permitted levels of use, the mean exposure of sodium erythorbate and/or erythorbic acid from processed meat at tier 2 was estimated to be 0.54 mg/kg body weight (9% of the ADI). Moreover, none of the respondents exceeded the ADI levels for sodium erythorbate or erythorbic acid, based on their individual consumption. The differences in dietary exposure to the aforementioned antioxidants that depended on age, educational level, and place of residence are presented in [Table 6](#).

Table 4. Dietary exposure to nitrites from processed meat products (in mg/kg body weight/day) and participant variables by the level of intake (above and below the ADI) at tiers 3 and 3a. The p-values indicate the significance level of a given variable (or interaction) in the model, Excluded – variable excluded as a result of selection (only interactions included in at least one of the highest ranked models are presented).

Variables	Dietary exposure Mg/kg bw/day		Baseline values for tier 3		Baseline values for tier 3a		N
	tier 3 mean	tier 3a mean	below ADI %	above ADI %	below ADI %	above ADI %	
sex	P < 0.001	P < 0.001	<i>not analysed</i>		<i>not analysed</i>		
Females	0.023	0.020	97.5	2.5	98.3	1.8	400
Males	0.042	0.035	81.9	18.1	89.7	10.7	232
Age group (years)	P < 0.001	P < 0.001	<i>not analysed</i>		<i>not analysed</i>		
Children (0–6)	0.066	0.056	56.7	43.3	76.7	23.3	30
Older children (7–11)	0.036	0.031	90.0	10.0	100.0	0.0	30
Adolescents (12–17)	0.044	0.038	91.7	8.3	91.7	8.3	12
Young adults (18–20)	0.018	0.016	100.0	0.0	100.0	0.0	36
Young adults (21–24)	0.022	0.019	96.5	3.5	96.5	3.5	85
Adults (25–34)	0.028	0.024	92.6	7.4	96.3	3.7	136
Adults (35–44)	0.024	0.021	98.0	2.0	98.6	1.4	147
Older adults (45–54)	0.028	0.023	92.0	8.0	95.5	4.5	88
Older adults (55–64)	0.051	0.040	78.4	21.6	81.1	18.9	37
Elderly (≥65)	0.045	0.039	87.1	12.9	93.5	6.5	31
Education	P < 0.001	P < 0.001	<i>not analysed</i>		<i>not analysed</i>		
In primary school	0.050	0.042	75.8	24.2	89.4	10.6	66
Primary	0.077	0.062	73.3	26.7	73.3	26.7	15
Vocational	0.064	0.050	67.7	32.3	71.0	29.0	31
Secondary technical	0.028	0.025	91.5	8.5	94.9	5.1	59
Secondary	0.0021	0.018	97.2	2.8	98.6	1.4	141
Higher	0.025	0.022	49.4	50.6	98.1	1.9	320
Place of residence.	P = 0.007	P = 0.003	<i>not analysed</i>		<i>not analysed</i>		
Village	0.038	0.032	85.8	14.2	91.1	8.9	169
City up to 49 thos.	0.028	0.024	93.8	6.2	98.2	1.8	113
City 50–149 thos.	0.028	0.024	93.2	6.8	94.5	5.5	73
City 150–499 thos.	0.34	0.029	90.3	9.7	92.5	7.5	93
City over 500 thos.	0.023	0.020	96.2	3.8	98.4	1.6	184
INTERACTIONS							
Sex*education	p = 0.008	p = 0.012	<i>not analysed</i>		<i>not analysed</i>		
Sex* place of residence	p = 0.047	p = 0.065	<i>not analysed</i>		<i>not analysed</i>		
Age group*education	p < 0.001	p < 0.001	<i>not analysed</i>		<i>not analysed</i>		

Table 5. Dietary exposure to phosphates from meat products by age group, educational level and place of residence.

Dietary exposure		Mean Exposure (mg/ kg bw per day)	Median Exposure (mg/ kg bw per day)	Exposure for high-level Consumers (mg/ kg bw per day)	Percentage ADI		
					Mean	Median	Exposure for high-level consumers
Age (years)	Children (0–17)	5.538	4.812	11.227	13.80%	12.00%	28.10%
	Young adults (18–24)	2.229	1.585	7.004	5.60%	4.00%	17.50%
	Adults (25–44)	2.768	2.353	6.838	6.90%	5.90%	17.10%
	Older adults (≥45)	3.909	2.381	12.662	9.80%	6.00%	31.70%
Education level	Primary and vocational	6.276	4.812	19.278	15.70%	12.00%	48.20%
	Secondary	2.600	1.987	6.968	6.50%	5.00%	17.40%
	Higher	2.621	2.165	6.671	6.60%	5.40%	16.70%
Place of residence	Village	4.098	2.938	12.437	10.20%	7.30%	31.10%
	City up to 499 thos.	3.258	2.451	8.42	8.10%	6.10%	21.10%
	City over 500 thos.	0.242	0.181	0.694	0.60%	0.50%	1.70%

Discussion

Consumption

The approach using a 24-h recall repeated three times provides a more accurate estimate of the intake of individual assortments than the frequently applied budget method (De Keyzer et al.

2011). This is because the budget method is based on assumptions about physiological demand for energy and fluids as well as the energy density of food products, rather than examining individual consumption, which results in inflated estimates of the theoretical maximum daily intake (TMDI) (Douglass et al. 1997).

Table 6. Dietary exposure to erythorbic acid and/or sodium erythorbate from meat products by age group, educational level and place of residence on tier 2.

Dietary exposure		Mean Exposure (mg/ kg bw per day)	Median Exposure (mg/ kg bw per day)	Exposure for high-level Consumers (mg/ kg bw per day)	Percentage ADI		
					Mean	Median	Exposure for high-level consumers
Age (years)	Children (0–17)	0.542	0.477	1.123	9.0%	8.0%	18.7%
	Young adults (18–24)	0.220	0.158	0.700	3.7%	2.6%	11.7%
	Adults (25–44)	0.264	0.231	0.659	4.4%	3.8%	11.0%
	Older adults (≥45)	0.372	0.222	1.203	6.2%	3.7%	20.0%
Education level	Primary and vocational	0.608	0.477	1.705	10.1%	8.0%	28.4%
	Secondary	0.252	0.196	0.672	4.2%	3.3%	11.2%
	Higher	0.250	0.200	0.642	4.2%	3.3%	10.7%
Place of residence	Village	0.397	0.250	1.244	6.6%	4.2%	20.7%
	City up to 499 thos.	0.311	0.241	0.842	5.2%	4.0%	14.0%
	City over 500 thos.	0.242	0.181	0.694	4.0%	3.0%	11.6%

Moreover, the 24 h recall can be considered as the best method to get estimating usual dietary intakes at the population level (Biró et al. 2002).

The mean intake of processed meat among all respondents estimated in this study was 48.2 g/day, which is similar to the values reported by Micha et al. (2015) based on 2010 data. The estimated mean food intake among adult respondents in Poland was approximately 47.8 g per day, which is approximately 48% higher than the estimated food intake of the Belgian population aged > 15 years. Among high levels consumers of processed meat, Polish respondents were characterised by nearly 2.5 times higher consumption than Belgians (Temme et al. 2011). Based on these findings, it can be concluded that despite the stated intention to reduce the amount of processed meat consumption expressed by the Polish population (Szczebyło et al. 2022), Poland's mean intake remains consistently high. This is related, among other factors, to the particular cultural tradition of eating meat and its processed meat products among the Polish people (Szczebyło et al. 2022). The survey also showed that consumption depended on socioeconomic factors such as age, sex, and educational level, as well as the size of the city of residence. However, the latter factor played a minor role. It should also be emphasised that the differences in the estimated level of intake may depend not only on the methods used to assess the consumption amount but also on the timing of the survey (Lee 2018). In our study, we used averaged data on consumption over three days, similar to studies conducted in Finland among children (Suomi et al. 2016). Shorter studies (based on a one-day period) have been conducted in Fiji (Chetty et al. 2019), and

Belgium, Greece, and Serbia (two-day study period studies) (Temme et al. 2011; Kotopoulou et al. 2022; Milešević et al. 2022). Studies covering longer periods have been conducted in Sweden (four days) (Larsson et al. 2011) and in Estonia, Denmark, and France (seven days) (Reinik et al. 2005; Leth et al. 2008; Menard et al. 2008). These differences in survey durations may make it difficult to directly compare the mean intakes reported in particular countries.

This study estimates the dietary exposure to three groups of food additives in meat preparations and meat products sold on the Polish market.

Exposure to nitrites

The results of this study show that a part of the Polish population may be at risk of exceeding the ADI for nitrites from processed meat products alone. Approximately 43.3% of children aged 1–6 years exceeded the ADI at tier 3 and 23.3% at tier 3a, i.e. considering the occurrence frequency of nitrites in particular assortment groups, while in Serbia exceedances were found in 9.3% of children aged 1–9 years (Milešević et al. 2022). However, in Sweden, after considering the conversion of nitrates to nitrites, only 12% of 4-year-olds exceeded the ADI for nitrites (Larsson et al. 2011). This shows that Polish children, excluding exposure related to the conversion of nitrates to nitrites, had 2–3.5 times more frequent exceedance of the ADI.

Studies conducted in Estonia revealed exceedances of the ADI in 40% of children aged 1–16 years in 2000–2001, in 29% of children in

2003–2004 (Reinik et al. 2005), and only 3% of children in 2013 and 2014 (Elias et al. 2020), whereas this study found exceedances in 23.6% of children aged up to 17 years at tier 3 and 11.1% of children at tier 3a. It should be noted, however, that in this experiment, for calculations on tier 3, the nitrite concentration was assumed for each assortment group based on data available in the literature (Michalski 1996a, 1996b, 1997a, 1997b, 1997c, 1998; Skrajnowska et al. 2004). The mean nitrite concentration in processed meat for all assortment groups was 42.4 mg/kg (for the years 1993–2004), which is over two times higher than the level of nitrite used at a similar time in Estonia, i.e. approximately 20 mg/kg of product (Reinik et al. 2005). They were also significantly higher than the levels found in Denmark, which ranged from 6 to 20 mg/kg of the product (Leth et al. 2008).

Based on the present study, the mean exposure to nitrites from meat products alone among children aged 1–6 years was 95% of the ADI (tier 3) and 81% (tier 3a). In the United States, it ranged between 0.1 to 30% of the ADI in the group of children aged 2 years and 0.1 to 86% of the ADI in the group of children aged 2–5 years (Lee 2018). Whereas, in Sweden, nitrite intake from cured meat in a group of 4-year-olds accounted for about 18% of the ADI (Larsson et al. 2011), and in Serbia, less than 30% of the ADI (Milešević et al. 2022). In contrast, nitrite exposure in Estonian children aged 1–6 years in 2004 was approximately 50% of the ADI (Reinik et al. 2005), and in 2014, it was approximately 25% (Elias et al. 2020). In Denmark, the mean intake is even lower, i.e. 16%–19% of the ADI (Leth et al. 2008). In a previous Polish study, total exposure to nitrites from all food categories was 88% (Wawrzyniak et al. 2003). In Sweden, exposure to nitrites, after including conversion, increased from 18% to 63% (Larsson et al. 2011). The results of this study indicate that exposure to nitrites from meat products and meat preparations alone in children aged < 6 years remains at very high levels, which, combined with exposure from other food categories and the conversion of nitrates to nitrites from water and vegetables, can lead to very high ADI exceedances. These data are alarming because the exposure at tiers

3 and 3a from 175% and 146%, respectively. Additionally, the obtained results were compared with the findings on dietary exposure to nitrites provided by the European Food Safety Authority (EFSA) (Mortensen et al. 2017). The average data from 15 European Union countries indicated that the mean exposures in the two groups of children (aged 1–3 and 3–9 years) were approximately 21.5% and 22.9%, respectively, which is approximately four times lower than that in Poland.

In Poland, in a group of children aged under 6 years of age, the assortment group that contributed the most to nitrite exposure was sausages (54%) and smoked meats (43%). Offal meat and other meat products accounted for the remaining 3%. Among the sausage groups, the highest values were observed for the subgroups of frankfurters and wiener sausages (11% and 28.5%, respectively), and kabanos sausages (8.2%). These figures are consistent with studies conducted in the United States, Estonia, and Denmark, where sausages were the main source of nitrites, accounting for 64%, 49%, and 42% of the exposures, respectively (Leth et al. 2008; Lee 2018; Elias et al. 2020). In Estonia (Reinik et al. 2005; Elias et al. 2020), and Finland (Suomi et al. 2016), similar to Poland, frankfurters and wiener sausages were important sources of nitrites among young children. In Serbia, the products that contributed the most to nitrite exposure were sausages and luncheon meat (Milešević et al. 2022), while exposure from luncheon meat among children in Poland was close to zero.

In the general population of children, similar to young children, the products that accounted for the highest exposure were sausages (53%) and smoked meats (45%). However, a decline in exposure to sausages (45%) in favour of smoked meats (54%) (Lee 2018), which occurred among American children, was not observed. However, such a distribution was identified among Polish adults, where exposure to nitrites from the consumption of meat products hovered at 46% (smoked meats), 37% (sausages), 7.5% (formed/block meat products), 6.5% (offal), and 3% (meat preparations).

In Belgium, in a group aged 15 years or older, nitrite exposure from processed meat accounted for approximately 6% of the ADI (Temme et al.

2011) compared with the mean intake among Polish adults, which was as much as 40% of the ADI at tier 3 and 34% at tier 3 A. By contrast, among adults in New Zealand, the mean daily intake of exogenous nitrites, including food and water, has been reported to be approximately 13% of the ADI (Thomson et al. 2007), whereas in Denmark it is even lower, at approximately 5% of the ADI (Leth et al. 2008). A study in Fiji showed that the country's adult population is characterised by a very high level of meat and processed meat consumption, which results in a high mean nitrite exposure of 385% of the ADI (Chetty et al. 2019). This means that it is approximately ten times higher than that in Poland, with the consumption of meat and processed meat that is two times higher. These findings also suggest that nitrite concentrations in processed meat in Fiji are significantly higher than those observed in Poland.

Details of exposure to nitrites from processed meat products for tiers 2 and 2a and also the relationship between the amount of exposure at tiers 2 and 3 in Poland and other European countries are provided in [Appendix 2](#).

In France, there was a decrease in the estimated dietary exposure to nitrites in studies over several years, which initially ranged from 0.02 to 0.05 mg/kg/day in adults and from 0.04 to 0.09 mg/kg/day in children and 0.0008 mg/kg/day (Menard et al. 2008), then was lowered to 0.002 mg/kg/day in adults and 0.0014 mg/kg/day to 0.004 mg/kg/day in children (Bemrah et al. 2012). A similar trend was observed in studies conducted in Estonia, where exposure among children over a 10-year period nearly doubled (Reinik et al. 2005; Elias et al. 2020). This decrease can be explained by a decline in the consumption of meat products combined with a reduced level of nitrites in these products (Elias et al. 2020).

It is difficult to compare studies on exposure to nitrites conducted in Poland and other countries because the methodologies used to estimate consumption, exposure, and target groups are different. Moreover, some analyses estimated exposure to nitrites as food additives only, whereas others focused on total dietary exposure to these substances (Menard et al. 2008). The contrasts in exposure observed in particular countries reflect cultural

differences in dietary preferences, meat processing methods, and the level of use of nitrites per kilogram of meat, which may consequently lead to significant differences in the exposures to nitrites between these countries (Lee 2018). An earlier study conducted in Poland by Anyzewska and Wawrzyniak (2014) estimated the exposure to nitrites and nitrates to be half of the ADI for these food additives, whereas the present study has revealed considerable ADI exceedances. These discrepancies may have been caused by the different survey methodologies used in the two experiments. The previous study was based on the amount of consumption estimated involving mean statistical data for the years 2006–2012 rather than data obtained from individual respondents.

It can be presumed that such a high exposure to nitrites from processed meats, and thus the high frequency of their use in food, is related to their antibacterial and food-preserving effects. Nitrites inhibit the growth of bacteria such as *Clostridium botulinum*, and thus the production of toxins ([EFSA] European Food Safety Authority 2003, 2010; Sebranek and Bacus 2007; King et al. 2015), as well as reduction of the growth of other foodborne microorganisms, including *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes*, which are important in the context of public health (Hospital et al. 2012, 2014; 2017; Christieans et al. 2018). Additionally, nitrites inhibit lipid peroxidation and the process of fat rancidity and thus increase the shelf life of cured meat (Andrée et al. 2010). The addition of nitrites to meat initiates numerous chemical reactions that result in the preservation of colour and the development of other characteristics of cured meat products. Nitrites are thought to improve the sensory quality of products and change the taste and aroma of meat (Sebranek and Bacus 2007; Andrée et al. 2010; Hospital et al. 2012, Zhang et al. 2023). However, high dietary nitrite exposure can lead to adverse health effects. Nitrites are precursors of nitrosamines ([EFSA] European Food Safety Authority 2010), which form as a result of the nitration of secondary amines. These substances, rather than the nitrites themselves, have been found to increase the risk of adverse health effects, and they are classified as carcinogens as they contribute to an increased

risk of gastric cancer. Moreover, like with other compounds found in processed meat, these compounds can cause colon cancer (Mortensen et al. 2017). The consumption of nitrites at high concentrations can contribute to cyanosis (methemoglobinemia) or anaemic hypoxaemia resulting from impaired oxygen transport in the blood. This is due to the association of nitrites with haemoglobin, which causes iron oxidation and thus the formation of methaemoglobin (Lee et al. 2021).

However, nitrites also exert beneficial effects on human health. They are reduced to nitric oxide, which is essential to the human body (Lee et al. 2021). They also play an important role in the proper functioning of the cardiovascular, immune, metabolic, as well as the nervous and reproductive systems (Lee et al. 2021; Milešević et al. 2022).

Exposure to phosphates

According to a report by the European Food Safety Authority (EFSA), the main food categories contributing to total phosphate exposure when using the regulatory maximum level exposure assessment scenario were fine bakery wares, unflavoured pasteurised and sterilised (including UHT) milk among children and infants, and bread rolls and fine bakery wares for other age groups. If the refined exposure assessment scenario is applied, the food categories contributing the most to phosphate exposure are bread and rolls, fine baked goods in all age groups; processed cheese in young children; and meat products, sugars, and syrups in children, adults, and the elderly (Younes et al. 2019). Processed meat products accounted for 6.1%–14.0% of the total dietary phosphorus exposure in toddlers, 5.2%–17.8% in children, 5.4%–19.3% in adolescents, 5.1%–21.8% in adults, and 7.1%–18.6% in the elderly (Younes et al. 2019). In our study, the mean exposure to phosphates from meat products in children was 13.8% of the ADI at tier 2, whereas the exposure for high-level consumers (95p) was 28.1% at tier 2. The exposure estimates for high-level consumers at tier 2 were higher than those estimated by the EFSA, but still below the ADI.

In the case of a study conducted in Serbia involving a group of children aged 1–9 years, the

mean phosphate exposure at tier 3, *i.e.* taking into account the phosphate concentrations in the products, ranged between 4.93% and 5.26% of the ADI in girls and between 4.97% and 5.40% of the ADI in boys (Milešević et al. 2022). In this experiment, the evaluation was performed for tier 2, *i.e.* based on the maximum levels of use of food additives as specified in Regulation 1333/2008 ([EC] European Commission 2008). Therefore, it was not possible to compare the study results conclusively.

Despite the fact that phosphorus exposure from meat products is well below the ADI, it should not be forgotten that, in this case, it is not the main food category responsible for dietary exposure. Therefore, the total ADI from all food categories can be exceeded, as observed in a study conducted in a group of children in the UK (Vin et al. 2013), where phosphate exposure from meat products was estimated to be 16%–41% of the total exposure. Additionally, the panel concluded that an ADI level of 40 mg/kg body weight/day, expressed as phosphorus, is safe for healthy adult humans and does not apply to individuals with moderate-to-severe renal impairment, which can affect up to 10% of the population (Younes et al. 2019).

Although phosphorus is essential to the human diet, excessive amounts can be associated with adverse health effects. These conditions include nephrocalcinosis and nephropathy (Younes et al. 2019). Moreover, excessive phosphorus intake is also suspected of affecting the activation of fibroblast growth factor-23 (FGF-23), which in turn is directly linked to the development of disorders such as left ventricular hypertrophy, vascular calcification, atrial fibrillation, heart failure, and cardiovascular mortality, as well as the development of bone disorders including bone demineralisation, osteoporosis and bone fractures (Milešević et al. 2022).

Exposure to erythorbic acid (E 315) and/or sodium erythorbate (E 316)

Based on the EFSA report, the main food categories contributing to the total exposure to erythorbic acid (E 315) and sodium erythorbate (E 316), according to the regulatory maximum level exposure scenario, were heat- and non-heat-treated meat products, meat products, processed fish and

fishery products, preserved and semi-preserved fish products, and fish roe. In all the analysed age groups, meat products accounted for 50%–100% of the exposure to the abovementioned food additives. In the case of the refined exposure assessment scenario, the food categories contributing the most to the exposure to erythorbic acid and sodium erythorbate were meat products (heat- and non-heat-treated meat products), which accounted for approximately 96%–100% of exposure to the said food additives (EFSA 2016). In our study, the mean exposure to erythorbic acid and/or sodium erythorbate from meat products was 5.23% of the ADI at tier 2, whereas the exposure for high-level consumers (95p) was 18.7% at tier 2. The results of the present analysis could not be compared with those of similar studies from European and non-European countries because exposure to erythorbic acid and/or sodium erythorbate from meat products has not yet been the subject of other publications. However, considering that when applying tier 2 calculations, the food categories responsible for exposure are mainly meat products, it can be assumed that the consumption of erythorbic acid and/or sodium erythorbate in Poland is well below the ADI. A study conducted in Italy (also at tier 2), which assessed exposure to the above food additives from all categories, found that the ADI was not exceeded, with exposure being 20% of the ADI, and in the case of high-level consumers (95p), 50% of the ADI (Leclercq et al. 2000).

Limitations of the study

Our study has some limitations. First of all, due to limited access to the appropriate type or geographic scope of study participants, respondents during the food consumption data collection were not randomly selected, which may have resulted in bias in the study population. However, during the survey, responses were obtained from respondents that varied in gender, age group, level of education and place of residence. Due to the high dietary exposure to nitrites from processed meat, especially in the group of children, further research, including a random sample, should focus on this age group.

Second, the data on nitrite concentrations in the meat products used in the above analysis

were based on literature data from the years 1993–2004. The lack of current studies, combined with the trend to reduce the levels of nitrites used during processed meat production observed in other countries (e.g. Estonia and France), may lead to an overestimation of the results. Additionally, the lack of a direct relationship between the amount of nitrites added to the production process and their concentration in the final product (EFSA, 2003) can lead to errors in the results. Nitrites added to meat during the production process are degraded, and their residue levels in the final product are dependent on the heat-treatment temperature; storage time; product pH; and the use of antioxidants such as ascorbic acid, sodium ascorbate, erythorbic acid, and sodium erythorbate (Honikel 2008; EFSA 2003). Therefore, when conducting tests, it is more appropriate to rely on the amount of added substances rather than on the concentration of residual nitrites in the final product.

Conclusions

Our studies have shown that dietary exposure to nitrites from processed meats is very high and, in many cases, exceeds the ADI, especially in children. Moreover, it should be noted that apart from processed meat products, there are other dietary sources of nitrites and that a large amount of nitrates (from vegetables, water, etc.) is endogenously converted to nitrites.

The alarming results regarding the level of nitrite exposure (obtained from individual consumption questionnaires in correlation with nitrite concentrations in processed meat reported in the literature and adjusted for their occurrence frequency) show that it may be necessary to perform analyses of nitrite exposure at tier 3, as well as tiers 3a and 3b, based on the actual concentrations used by manufacturers.

In the case of phosphates, dietary exposure to phosphorus from meat products was found to be well below the ADI. However, the abovementioned food category is not the only one responsible for dietary exposure, which may mean that the ADI is exceeded if all food categories are added together.

This study showed that dietary exposure to erythorbic acid and/or sodium erythorbate in meat products is well below the ADI. It also appears that the total exposure from all food categories should not lead to an exceedance of the ADI, because meat products constitute the main category contributing to exposure to the above-mentioned food additives.

Authors' contribution

Conceptualisation: K. Cz-Z. and K. A.; Methodology, K. Cz-Z. and D. K.; validation, K. Cz-Z. and J.Z.; formal analysis, K. Cz-Z. and A.D.; investigation, K. Cz-Z.; resources, K. Cz-Z. Data curation: K. Cz-Z. Writing, original draft preparation: K. Cz-Z. and D.K.; writing, review, and editing, A.D., J.Z., A.J-T., and K.A.; Visualisation, K. Cz-Z. and D. K.; supervision, K. A.; and project administration, K. Cz-Z. All the authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

ORCID

Katarzyna Czech-Zalubska  <http://orcid.org/0009-0000-9760-7690>

References

- Andrée S, Jira W, Schwind KH, Wagner H, Schwägele F. 2010. Chemical safety of meat and meat products. *Meat Sci.* 86(1):38–48. doi:10.1016/j.meatsci.2010.04.020.
- Anyzewska A, Wawrzyniak A. 2014. Evaluating adult dietary intakes of nitrate and nitrite in Polish households during 2006–2012. *Rocz Panstw Zakl Hig.* 65(2):107–111.
- Bemrah N, Vin K, Sirot V, Aguilar F, Ladrat AC, Ducasse C, Gey JL, Rétho C, Nougadere A, Leblanc JC. 2012. Assessment of dietary exposure to annatto (E160b), nitrites (E249–250), sulphites (E220–228) and tartaric acid (E334) in the French population: the second French total diet study. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 29(6):875–885. doi:10.1080/19440049.2012.658525.
- Biró G, Hulshof KF, Ovesen L, Amorim Cruz JA. 2002. Selection of methodology to assess food intake. *Eur J Clin Nutr.* 56 Suppl 2(S2):S25–S32. doi:10.1038/sj.ejcn.1601426.
- Burnham KP, Anderson DR. 2002. Model selection and inference: a practical information-theoretic approach. New York(NY): Springer-Verlag.
- Chetty AA, Prasad S, Pinho OC, de Morais CM. 2019. Estimated dietary intake of nitrate and nitrite from meat consumed in Fiji. *Food Chem.* 278:630–635. doi:10.1016/j.foodchem.2018.11.081.
- Christieans S, Picgirard L, Parafita E, Lebert A, Gregori T. 2018. Impact of reducing nitrate/nitrite levels on the behavior of Salmonella Typhimurium and Listeria monocytogenes in French dry fermented sausages. *Meat Sci.* 137:160–167. doi:10.1016/j.meatsci.2017.11.028.
- De Keyzer W, Huybrechts I, De Vriendt V, Vandevijvere S, Slimani N, Van Oyen H, De Henauw S. 2011. Repeated 24-hour recalls versus dietary records for estimating nutrient intakes in a national food consumption survey. *Food Nutr Res.* 55:8326. doi:10.3402/fnr.v55i0.7307.
- Diouf F, Berg K, Ptok S, Lindtner O, Heinemeyer G, Hesecker H. 2014. German database on the occurrence of food additives: application for intake assess. estimation of five food colours for toddlers and children. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 31(2):197–206. doi:10.1080/19440049.2013.865146.
- Douglass JS, Barraj LM, Tennant DR, Long WR, Chaisson CF. 1997. Evaluation of the budget method for screening food additive intakes. *Food Addit Contam.* 14(8):791–802. doi:10.1080/02652039709374590.
- Elias A, Jalakas S, Roasto M, Reinik M, Nurk E, Kaart T, Tuvike A, Meremäe K, Nelis K, Elias T. 2020. Nitrite and nitrate content in meat products and estimated nitrite intake by the Estonian children. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 37(8):1229–1237. doi:10.1080/19440049.2020.1757164.
- [EC] European Commission. 2001. Report from the Commission on Dietary Food Additive Intake in the European Union. Brussels, COM. 542.
- [EC] European Commission. 2004. Commission Regulation No 853/2004 of 29 April laying down specific hygiene rules for on the hygiene of foodstuffs. *European Parliament. Off J Eur Union.* 139:55–205.
- [EC] European Commission. 2008. Commission Regulation No 1333/2008 of 16 December 2008 on Food Additives. *European Parliament. Off J Eur Union.* 354:16–33.
- [EFSA] European Food Safety Authority. 2003. Panel on biological hazards. Scientific opinion on a request from the commission related to the effects of nitrites/nitrates on the microbiological safety of meat products. *EFSA J.* 14:1–34.
- [EFSA] European Food Safety Authority. 2008. Panel on contaminants in the food chain(CONTAM). Scientific opinion on nitrate in vegetables. *EFSA J.* 689:1–79.
- [EFSA] European Food Safety Authority. 2010. Panel on food additives and nutrient sources added to Food (ANS). Statement on nitrites in meat products. *EFSA J.* 8(5):1538. doi:10.2903/j.efsa.2010.1538.
- [EFSA] European Food Safety Authority. 2016. Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). Scientific opinion on the re-evaluation of erythorbic acid (E 315) and sodium erythorbate (E 316) as food

- additives. *EFSA J.* 14(1):4360. doi:10.2903/j.efsa.2016.4360.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nation. 2013. FAOSTAT. [accessed 2019 Jun 16]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nation. 2021. Meat. [accessed 2022 December 15]. <https://www.fao.org/3/cb5332en/Meat.pdf>.
- [FAO.WHO] Food and Agriculture Organisation of the United Nations. World Health Organization. 2003. Nitrate (and potential endogenous formation of N-nitroso compounds). WHO Food Additive. 50.
- [FF] FoodFakty 2021. Konsumpcja mięsa na świecie wzrasta, chociaż jest silnie zróżnicowana. [Meat consumption in the world is increasing, although it is highly diversified]. [accessed 2022 December 15]. <https://foodfakty.pl/konsumpcja-miesa-na-swiecie-wzrasta-chociaz-jest-silnie-zroznicowana>. Polish
- Godfray HCJ, Aveyard P, Garnett T, Hall JW, Key TJ, Lorimer J, Pierrehumbert RT, Scarborough P, Springmann M, Jebb SA. 2018. Meat consumption, health, and the environment. *Science*. 361(6399):5324. doi:10.1126/science.aam5324.
- Honikel KO. 2008. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Sci*. 78(1-2):68–76. doi:10.1016/j.meatsci.2007.05.030.
- Hospital XF, Hierro E, Arnau J, Carballo J, Aguirre JS, Gratacós-Cubarsí M, Fernández M. 2017. Effect of nitrate and nitrite on *Listeria* and selected spoilage bacteria inoculated in dry-cured ham. *Food Res Int*. 101:82–87. doi:10.1016/j.foodres.2017.08.039.
- Hospital XF, Hierro E, Fernández M. 2012. Survival of *Listeria innocua* in dry fermented sausages and changes in the typical microbiota and volatile profile as affected by the concentration of nitrate and nitrite. *Int J Food Microbiol*. 153(3):395–401. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2011.11.032.
- Hospital XF, Hierro E, Fernandez M. 2014. Effect of reducing nitrate and nitrite added to dry fermented sausages on the survival of *Salmonella typhimurium*. *Food Res Int*. 62:410–415. doi:10.1016/j.foodres.2014.03.055.
- King AM, Glass KA, Milkowski AL, Sindelar JJ. 2015. Comparison of the effect of curing ingredients derived from purified and natural sources on inhibition of *Clostridium perfringens* outgrowth during cooling of deli-style Turkey Breast. *J Food Prot*. 78(8):1527–1535. doi:10.4315/0362-028X.JFP-14-491.
- Kotopoulou S, Zampelas A, Magriplis E. 2022. Risk assessment of nitrite and nitrate intake from processed meat products: results from the Hellenic National Nutrition and Health Survey (HNNHS). *Int J Environ Res Public Health*. 19(19):12800. doi:10.3390/ijerph191912800.
- Larsson K, Darnerud PO, Ilbäck NG, Merino L. 2011. Estimated dietary intake of nitrite and nitrate in Swedish children. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 28(5):659–666. doi:10.1080/19440049.2011.555842.
- Leclercq C, Arcella D, Turrini A. 2000. Estimates of the theoretical maximum daily intake of erythorbic acid, gallates, butylated hydroxyanisole (BHA) and butylated hydroxytoluene (BHT) in Italy: a stepwise approach. *Food Chem Toxicol*. 38(12):1075–1084. doi:10.1016/s0278-6915(00)00106-x.
- Lee DY, Lee SY, Jo C, Yoon Y, Jeong JY, Hur SJ. 2021. Effect on health from consumption of meat and meat products. *J Anim Sci Technol*. 63(5):955–976. doi:10.5187/jast.2021.e101.
- Lee HS. 2018. Exposure estimates of nitrite and nitrate from consumption of cured meat products by the U.S. population. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 35(1):29–39. doi:10.1080/19440049.2017.1400696.
- Leth T, Fagt S, Nielsen S, Andersen R. 2008. Nitrite and nitrate content in meat products and estimated intake in Denmark from 1998 to 2006. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 25(10):1237–1245. doi:10.1080/02652030802101885.
- Löwik MR. 1996. Possible use of food consumption surveys to estimate exposure to additives. *Food Addit Contam*. 13(4):427–441. doi:10.1080/02652039609374428.
- Menard C, Heraud F, Volatier JL, Leblanc JC. 2008. Assessment of dietary exposure of nitrate and nitrite in France. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 25(8):971–988. doi:10.1080/0265203 0801946561.
- Micha R, Khatibzadeh S, Shi P, Andrews KG, Engell RE, Mozaffarian D. 2015. Global, regional and national consumption of major food groups in 1990 and 2010: a systematic analysis including 266 country-specific nutrition surveys worldwide. *BMJ Open*. 5(9):e008705. doi:10.1136/bmjopen-2015-008705.
- Michalski MM. 1996a. Residues of nitrites and nitrates in selected meat products examined in veterinary laboratories within the framework of sanitary-hygiene supervision in the year 1995. *Bull Vet Inst Pulawy*. 40:117–120.
- Michalski MM. 1996b. Zawartość azotynów i azotanów w wybranych produktach drobiowych w 1993 roku [Content of nitrites and nitrates in selected poultry products in 1993]. *Gosp Miesna*. 48(3):52–53.
- Michalski MM. 1997a. Residues of nitrites and nitrates in selected meat products examined in Poland within the framework of sanitary-hygiene supervision in 1996. *Bull Vet Inst Pulawy*. 41:127–130.
- Michalski MM. 1997b. Pozostałości azotanów i azotynów w kielbasach wyprodukowanych w Polsce w 1995 roku [Residues of nitrates and nitrites in sausages produced in Poland in 1995]. *Gosp Miesna*. 49(5):52–53. Polish
- Michalski MM. 1997c. Zawartość azotynów oraz azotanów w wybranych produktach mięsnych w 1994 r [Content of nitrites and nitrates in selected meat products in 1994]. *Przem Spoż*. 51(6):36–37. Polish
- Michalski MM. 1998. Zawartość azotynów i azotanów w kielbasach parzonych [The content of nitrites and nitrates in scalded sausages]. *Med Weter*. 54(6):421–423. Polish
- Milešević J, Vranić D, Gurinović M, Korićanac V, Borović B, Zeković M, Šarac I, Miličević DR, Glibetić M. 2022. The intake of phosphorus and nitrites through meat products:

- a health risk assessment of children aged 1 to 9 years old in Serbia. *Nutrients*. 14(2):242. doi:10.3390/nu14020242.
- [MF] Ministry of Finance, Poland. 2019. Dane z zeznań podatkowych podatników, o których mowa w art. 27b ustawy z dnia 15 lutego 1992 r. o podatku dochodowym od osób prawnych (Dz. U. z 2017 r. poz. 2343, ze zm.) oraz w ustawie z 24 listopada 2017 r. o zmianie ustawy o podatku dochodowym od osób prawnych (Dz. U. poz. 2369) [Data from tax returns of taxpayers referred to in art. 27b of the Act of February 15, 1992 on Corporate Income Tax (Journal of Laws of 2017, item 2343, as amended) and in the Act of November 24, 2017 amending the Corporate Income Tax Act (Journal of Laws item 2369)]. [accessed 2019 Jun 16]. <https://www.gov.pl/attachment/b478f9f3-f0ce-4326-98a6-7e15fde394b1>. Polish
- Mortensen A, Aguilar F, Crebelli R, Di Domenico A, Dusemund B, Frutos MJ, Galtier P, Gott D, Gundert-Remy U, Lambré C, et al. 2017. EFSA panel on food additives and nutrient sources added to food (ans) on re-evaluation of potassium nitrite (E 249) and sodium nitrite (E 250) as food additives. *EFSA J*. 15(6):e04786. doi:10.2903/j.efsa.2017.4786.
- Reinik M, Tamme T, Roasto M, Juhkam K, Jurtsenko S, Tenõ T, Kiis A. 2005. Nitrites, nitrates and N-nitrosoamines in Estonian cured meat products: intake by Estonian children and adolescents. *Food Addit Contam*. 22(11):1098–1105. doi:10.1080/02652030500241827.
- Rohrmann S, Linseisen J. 2016. Processed meat: the real villain? *Proc Nutr Soc*. 75(3):233–241. doi:10.1017/S0029665115004255.
- Salvador Castell G, Serra-Majem L, Ribas-Barba L. 2015. What and how much do we eat? 24-hour dietary recall method. *Nutr Hosp*. 31(3):46–48. doi:10.3305/nh.2015.31.sup3.8750.
- Skrajnowska D, Pokorska-Lis G, Oledzka R. 2004. The contents of nitrates (III) and (V), added polyphosphates and total levels of phosphorus, calcium, magnesium, iron and zinc in some cured meat products. *Rocz Panstw Zakl Hig*. 55(4):287–295.
- Sebranek JG, Bacus JN. 2007. Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat Sci*. 77(1):136–147. doi:10.1016/j.meatsci.2007.03.025.
- Speedy AW. 2003. Global production and consumption of animal source foods. *J Nutr*. 133(11):4048–4053. doi:10.1093/jn/133.11.4048.
- Statistics Poland. 2018. Demographic yearbook of Poland. Warsaw: Statistics Poland.
- Suomi J, Ranta J, Tuominen P, Putkonen T, Bäckman C, Ovaskainen ML, Virtanen SM, Savela K. 2016. Quantitative risk assessment on the dietary exposure of Finnish children and adults to nitrite. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 33(1):41–53. doi:10.1080/19440049.2015.1117145.
- Szczybyło A, Halicka E, Rejman K, Kaczorowska J. 2022. Is eating less meat possible? Exploring the willingness to reduce meat consumption among millennials working in polish cities. *Foods*. 11(3):358. doi:10.3390/foods11030358.
- Szponar L, Wolnicka K, Rychlik E. 2020. Album fotografii produktów i potraw. [Photo album of products and dishes]. Warsaw: National Food and Nutrition Institute.
- Temme EH, Vandevijvere S, Vinkx C, Huybrechts I, Goeyens L, Van Oyen H. 2011. Average daily nitrate and nitrite intake in the Belgian population older than 15 years. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 28(9):1193–1204. doi:10.1080/19440049.2011.584072.
- Thomson BM, Nokes CJ, Cressey PJ. 2007. Intake and risk assessment of nitrate and nitrite from New Zealand foods and drinking water. *Food Addit Contam*. 24(2):113–121. 2: doi:10.1080/02652030600934206.
- Thornton PK. 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 365(1554):2853–2867. doi:10.1098/rstb.2010.0134.
- Vin K, Connolly A, McCaffrey T, McKevitt A, O'Mahony C, Prieto M, Tennant D, Hearty A, Volatier JL. 2013. Estimation of the dietary intake of 13 priority additives in France, Italy, the UK and Ireland as part of the FACET project. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 30(12):2050–2080. doi:10.1080/19440049.2013.851417.
- Wawrzyniak A, Hamułka J, Skibińska E. 2003. Obliczeniowa ocena pobrania azotanów i azotynów oraz witamin antyoksydacyjnych z całodziennymi racjami pokarmowymi przez dzieci w wieku 1-6 lat [The evaluation of nitrate, nitrite and antioxidant vitamin intake in daily food ration of children aged 1-6 year of age]. *Rocz Panstw Zakl Hig*. 54(1):65–72. Polish
- [WCRF] World Cancer Research Fund. American Institute for Cancer Research 2018. Recommendations and public health and policy implications. [accessed 2022 Dec 04]. <https://www.wcrf.org/wp-content/uploads/2021/01/Recommendations.pdf>.
- Younes M, Aquilina G, Castle L, Engel KH, Fowler P, Frutos Fernandez MJ, Fürst P, Gürtler R, Husøy T, Mennes W. 2019. EFSA panel on food additives and flavourings (FAF). Re-evaluation of phosphoric acid-phosphates - di-, tri- and polyphosphates (E 338-341, E 343, E 450-452) as food additives and the safety of proposed extension of use. *EFSA J*. 17(6):e05674. doi:10.2903/j.efsa.2019.5674.
- Zhang Y, Zhang Y, Jia J, Peng H, Qian Q, Pan Z, Liu D. 2023. Nitrite and nitrate in meat processing: functions and alternatives. *Curr Res Food Sci*. 6:100470. doi:10.1016/j.crfs.2023.100470.

Appendix A

Table A. The mean nitrite content in processed meat calculated on the available literature data.

main groups	product groups	mean content mg/kg
meat preparations	mett	49.25
	beef tartare	36.90
	raw white sausages	25.20
smoked meats	bacon	57.90
	steamed smoked meats	42.50-60.00 *
	dry-cured ham	63.97
	lard	54.72
sausages	kabanos sausages	38.90
	thick/ sandwich sausages	22.00 – 50.00*
	thin sausages	31.20 – 48.55*
	wiener sausages	39.83 – 40.00*
	frankfurters	41.90 – 50.00*
offal meats	brawn	51.40
	liver sausage	10.00
	pate	10.00
	black pudding	51.40
other meat products	pork/ poultry aspic	62.50
	luncheon meat	46.90
	canned ham	60.00
	poultry formed/block meat product	50.00

* depending on the subgroup

Appendix B

Table B. Dietary exposure to nitrites from processed meat products by age groups, education level and place of residence

Dietary exposure		approach	mean exposure (mg/ kg bw per day)	median exposure (mg/ kg bw per day)	exposure for high-level consumers (mg/ kg bw per day)	percentage ADI		
						mean	median	exposure for high- level consumers
age groups	children (0–17)	tier 2	0.166	0.143	0.337	236.5%	204.6%	481.2%
		tier 2a	0.139	0.124	0.287	198.8%	176.5%	410.7%
		tier 3	0.050	0.047	0.104	71.2%	66.7%	148.1%
		tier 3a	0.043	0.039	0.091	61.0%	55.3%	130.0%
		tier 3b	0.043	0.039	0.092	61.5%	55.7%	130.8%
		tier 3b'	0.044	0.040	0.093	62.7%	57.1%	133.0%
	young adults (18–24)	tier 2	0.070	0.053	0.210	99.5%	75.2%	300.2%
		tier 2a	0.058	0.040	0.183	83.6%	57.5%	261.8%
		tier 3	0.021	0.016	0.061	29.6%	22.3%	87.8%
		tier 3a	0.018	0.014	0.055	25.9%	20.2%	78.4%
		tier 3b	0.018	0.014	0.055	26.1%	20.3%	79.1%
		tier 3b'	0.019	0.014	0.057	26.7%	20.6%	81.1%
	adults (25–44)	tier 2	0.085	0.071	0.208	121.6%	101.4%	297.2%
		tier 2a	0.071	0.061	0.184	101.5%	86.8%	262.7%
		tier 3	0.026	0.021	0.069	36.7%	30.1%	98.0%
		tier 3a	0.022	0.018	0.053	31.7%	26.1%	76.3%
		tier 3b	0.022	0.018	0.054	31.9%	26.2%	76.7%
		tier 3b'	0.023	0.019	0.054	32.8%	26.7%	77.7%
	older adults (≥45)	tier 2	0.120	0.075	0.375	171.1%	106.5%	535.6%
		tier 2a	0.095	0.063	0.313	136.0%	89.3%	447.7%
		tier 3	0.037	0.024	0.121	52.9%	34.1%	172.6%
		tier 3a	0.030	0.021	0.087	43.2%	29.9%	123.7%
		tier 3b	0.030	0.021	0.087	43.5%	30.1%	124.2%
		tier 3b'	0.031	0.022	0.088	44.3%	30.8%	125.9%
education level	primary and vocational	tier 2	0.188	0.144	0.571	267.9%	206.2%	815.0%
		tier 2a	0.152	0.124	0.412	217.0%	176.5%	588.9%
		tier 3	0.057	0.048	0.157	82.0%	67.9%	224.3%
		tier 3a	0.047	0.039	0.118	67.6%	55.3%	168.4%
		tier 3b	0.048	0.039	0.118	67.9%	55.7%	168.9%
		tier 3b'	0.048	0.040	0.119	69.0%	56.7%	170.5%
	secondary	tier 2	0.080	0.063	0.224	113.9%	90.5%	320.2%
		tier 2a	0.066	0.055	0.184	94.0%	78.2%	263.4%
		tier 3	0.023	0.023	0.065	33.4%	33.4%	93.5%
		tier 3a	0.020	0.015	0.056	28.8%	21.7%	80.1%
		tier 3b	0.020	0.015	0.056	29.1%	21.9%	80.4%
		tier 3b'	0.021	0.016	0.057	29.8%	22.9%	81.2%
	higher	tier 2	0.082	0.067	0.204	116.9%	96.1%	291.8%
		tier 2a	0.068	0.055	0.172	97.7%	78.8%	246.4%

place of residence	village	tier 3	0.025	0.020	0.063	35.8%	28.6%	90.4%
		tier 3a	0.022	0.017	0.052	30.9%	24.2%	74.3%
		tier 3b	0.022	0.017	0.052	31.2%	24.3%	74.6%
		tier 3b'	0.022	0.018	0.053	32.0%	25.3%	76.1%
		tier 2	0.125	0.088	0.373	178.3%	125.9%	533.0%
	city up to 499 thos.	tier 2a	0.103	0.067	0.319	147.7%	95.7%	455.1%
		tier 3	0.038	0.026	0.103	54.9%	36.4%	146.9%
		tier 3a	0.032	0.023	0.090	46.3%	32.3%	129.1%
		tier 3b	0.033	0.023	0.091	46.5%	32.7%	129.8%
		tier 3b'	0.033	0.024	0.092	47.4%	34.1%	132.0%
		tier 2	0.100	0.075	0.265	142.9%	107.6%	378.2%
		tier 2a	0.082	0.065	0.207	117.4%	92.8%	295.6%
		tier 3	0.030	0.023	0.080	43.0%	33.4%	113.7%
		tier 3a	0.026	0.021	0.067	36.5%	29.9%	95.6%
		tier 3b	0.026	0.021	0.068	36.8%	29.9%	97.1%
		tier 3b'	0.026	0.021	0.071	37.7%	30.4%	101.9%
		tier 2	0.077	0.058	0.223	109.7%	83.4%	318.8%
		tier 2a	0.063	0.049	0.183	90.5%	69.5%	261.7%
		tier 3	0.023	0.017	0.080	32.5%	25.0%	113.7%
		tier 3a	0.019	0.015	0.051	27.9%	21.2%	73.2%
		tier 3b	0.020	0.015	0.051	28.1%	21.6%	73.5%
		tier 3b'	0.020	0.015	0.052	28.8%	21.9%	74.9%

Table C. Dietary exposure to nitrites from processed meat products (in mg/kg body weight/day) and participant variables by the level of intake (above and below the ADI) at tiers 2 and 2a. The p-values indicate the significance level of a given variable (or interaction) in the model, Excluded – variable excluded as a result of selection (only interactions included in at least one of the highest ranked models are presented)

	dietary exposure mg/kg bw/day		baseline values for tier 2		baseline values for tier 2a		N
	tier 2 mean	tier 2a mean	below ADI %	above ADI %	below ADI %	above ADI %	
VARIABLES							
sex	P<0.001	P<0.001	P<0.001		P=0.008		
females	0.077	0.064	45.0	55.0	65.3	34.8	400
males	0.139	0.114	31.9	68.1	47.4	52.6	232
age group (years)	P<0.001	P<0.001	P<0.001		P=0.002		
children (0–6)	0.226	0.185	3.3	96.7	10.0	90.0	30
older children (7–11)	0.114	0.099	30.0	70.0	43.3	56.7	30
adolescents (12–17)	0.145	0.125	41.7	58.3	41.7	58.3	12
young adults (18–20)	0.061	0.051	58.3	41.7	72.2	27.8	36
young adults (21–24)	0.073	0.062	62.4	37.6	72.9	27.1	85
adults (25–34)	0.092	0.076	46.3	53.7	58.8	41.2	136
adults (35–44)	0.079	0.066	48.3	51.7	61.9	38.1	147
older adults (45–54)	0.090	0.072	59.1	40.9	71.6	28.4	88
older adults (55–64)	0.171	0.131	29.7	70.3	48.6	51.4	37
elderly (≥65)	0.143	0.119	25.8	74.2	32.3	67.7	31
education	P<0.001	P<0.001	excluded		P=0.067		
in primary school	0.165	0.138	19.7	80.3	28.8	71.2	66
primary	0.241	0.194	33.3	66.7	33.3	66.7	15
vocational	0.209	0.161	19.4	80.6	32.3	67.7	31
secondary technical	0.096	0.081	50.8	49.2	57.6	42.4	59
Secondary	0.073	0.059	55.3	44.7	68.1	31.9	141
Higher	0.082	0.068	50.6	49.4	64.7	35.3	320
place of residence.	P=0.020	P=0.006	excluded		excluded		
village	0.125	0.103	42.6	57.4	50.3	49.7	169
city up to 49 thos.	0.093	0.076	46.0	54.0	60.2	39.8	113
city 50–149 thos.	0.089	0.074	43.8	56.2	58.9	41.1	73
city 150–499 thos.	0.117	0.096	38.7	61.3	52.7	47.3	93
city over 500 thos.	0.077	0.063	55.4	44.6	68.5	31.5	184
INTERACTIONS ¹							
sex*education	P=0.009	P=0.011	excluded		excluded		
age group*education	P<0.001	P<0.001	excluded		excluded		

Article

The Nutri-Score Scale—A Tool for Assessing the Nutritional Quality of Processed Meat Products Available on the Polish Market

Katarzyna Czech-Zalubka ¹, Anna Didkowska ^{1,*}, Daniel Klich ², Agnieszka Jackowska-Tracz ¹, Joanna Zarzyńska ¹ and Krzysztof Anusz ¹

¹ Department of Food Hygiene and Public Health Protection, Institute of Veterinary Medicine, Warsaw University of Life Sciences (SGGW), Nowoursynowska 166, 02-787 Warsaw, Poland; katarzyna_czech_zalubka@sggw.edu.pl (K.C.-Z.); agnieszka_jackowska_tracz@sggw.edu.pl (A.J.-T.); joanna_zarzyńska@sggw.edu.pl (J.Z.); krzysztof_anusz@sggw.edu.pl (K.A.)

² Institute of Animal Sciences, Warsaw University of Life Sciences (SGGW), Ciszewskiego 8, 02-786 Warsaw, Poland; daniel_klich@sggw.edu.pl

* Correspondence: anna.didkowska@sggw.edu.pl

Abstract: Although meat and meat products are important sources of protein in the human diet, consumption appears to be a predisposing factor in the onset of several civilisation diseases, particularly red meat and its products. One way to reduce diet-related diseases is to guide consumers towards consciously purchasing healthier foods by including a nutrition declaration on product labels, such as by using a “front-of-pack” (FOP) labelling system. This study aimed to determine the Nutri-Score classes for processed meat products, distinguish products that are potentially better for consumers, and determine whether the refined algorithm significantly contributed to a change in product classification. An analysis of the labels of 1700 products available on the Polish market indicated that most processed meat products qualified as class D and E. Comparing the refined Nutri-Score calculation algorithm with the original algorithm resulted in a slight change in product allocation. Poultry products were ranked more favourably than red meat products. The most significant change in product allocation (by 35.2%) was achieved by reducing salt content by 30% and fat content by 10%. Among the processed meat products, some are more highly ranked and are hence considered better from a nutritional perspective than others in that group.

Keywords: front-of-pack labelling system; Nutri-Score; processed meat products; Polish market



Citation: Czech-Zalubka, K.; Didkowska, A.; Klich, D.; Jackowska-Tracz, A.; Zarzyńska, J.; Anusz, K. The Nutri-Score Scale—A Tool for Assessing the Nutritional Quality of Processed Meat Products Available on the Polish Market. *Nutrients* **2024**, *16*, 827. <https://doi.org/10.3390/nu16060827>

Academic Editors: Lidia Markiewicz and Anna Ogrodowczyk

Received: 3 February 2024

Revised: 9 March 2024

Accepted: 10 March 2024

Published: 14 March 2024



Copyright: © 2024 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

Meat and meat products are an important part of the human diet [1]. In the U.S. and other developed countries, meat provides humans with 15–17% of their daily energy needs and 30–40% of their daily protein needs while also accounting for 20% of their daily fat intake; however, these values vary considerably in different parts of the world [2–4].

Red meat, mainly processed red meat, appears to be a predisposing factor for many civilisation diseases. Numerous reports have shown that increased consumption of red meat and processed meat is associated with an increased risk of type 2 diabetes [5–10], cardiovascular diseases [11], and ischaemic heart disease [6,8]. Consumption of red and/or processed meat also increases the risk of stroke [12–14], particularly ischaemic stroke [15]. Furthermore, increased consumption of processed meat has been related to an increased risk of various cancers, including oesophageal squamous cell carcinoma [16,17], gastric cancer [18], cancers of the large intestine, colon, and rectum [19–21], pancreatic cancer [22], and breast cancer [23–26]. Studies have also identified a relationship between red and processed meat consumption and any-cause mortality [11,27,28]. High consumption of red and processed meat is known to increase the risk of total, cardiovascular, and cancer

mortality [29,30]. Some studies have indicated that reducing processed meat consumption below 20 g/day would prevent more than 3% of all deaths [31]. Thus, limiting the consumption of red and processed meat appears to be an essential dietary recommendation for preventing cardiovascular diseases, type 2 diabetes, and various types of cancer.

Poland is characterised by a very high level of processed meat consumption [32], ranking third in the world after Panama and Latin American countries [33]; indeed, in Poland, nearly 17.6% of energy in the diet comes directly from meat products [2]. Therefore, it seems appropriate to encourage consumers to purchase healthier foods consciously by including a nutrition declaration on product labels.

The negative impact of processed meat products on human health could be ameliorated by reformulating products; for example, it might be possible to reduce the levels of sodium [34] or fat. Moreover, some research suggests that the consumption of white meat, an excellent protein source, may be associated with a reduced risk of stomach cancer [18] and stroke [13] compared to red meat.

Within the European Union, in accordance with Regulation (EU) 1169/2011, food products must be labelled with information on the energy value of the product and its fat, saturated fat, carbohydrate, sugar, protein, and salt content; these data must be presented in a tabular form and be legible to consumers. In addition, food business operators (FBOs) may include additional information on these labels, i.e., the amounts of monounsaturated and polyunsaturated fats, polyols, starch, fibre, vitamins, and minerals [35]. Moreover, in accordance with Article 35 of Regulation (EU) 1169/2011, the energy value and the amounts of nutrients may be repeated in the form of graphics or symbols [35] on the front of the packaging, a location known as “front-of-pack” (FOP).

FOP labelling has also been recommended by the WHO to counter the growing obesity epidemic and the increasing risk of non-communicable diseases arising from dietary sources. It has been reported that easy-to-understand food labelling systems can support nutritional education and help consumers choose healthier products while also influencing FBOs to reformulate their products to be healthier [36–40].

Due to the lack of a global, jointly developed labelling system, both within and outside the European Union, individual countries have adopted different forms of labelling, which are either obligatory or voluntary, depending on the local legislation. Indications can be divided into “nutrient-specific” schemes, which provide information on specific nutrients in a numerical and “colour-coded” form, or “summary indicator” schemes. An example of the former is the “NutriInform Battery” adopted in Italy, which illustrates the suggested daily quantity consumption of energy and nutrients contained in a single portion of food as a percentage in the form of a battery symbol [41]. Another colour-coded FOP scheme has been introduced in the UK; this presents the particular nutritional and energy value contained in a single portion of the product and the percentage of an adult’s reference intake, with colour coding (red, amber, and green) [42].

“Summary indicator” schemes can be divided into those including only “positive” indicators, i.e., labelling can only be applied to foods that meet certain criteria, and “graded” indicators, i.e., labelling can be applied to all products that receive a graded designation depending on the adopted scale [43]. Examples of “graded” indicators include the Health Star Rating (HSR, system of classification of health stars) [40], introduced in 2014 in Australia and New Zealand, and the Nutri-Score introduced in 2017 in France. In the case of the Nutri-Score, the information provided on a label is expressed as a five-point colour scale running from dark green to dark orange. Each colour is additionally assigned a letter from A to E. The product is rated on the Nutri-Score scale according to both negative factors (*N*-components), such as sugars, saturated fat, salt, and energy value provided, and positive factors (*P*-components), such as protein, fibre, fruits, vegetables, legume, and nut content [44]. This classification programme has also been implemented in other European countries, such as Spain, Belgium, the Netherlands, Luxembourg, Germany, and Switzerland [43,45]. However, the Nutri-Score scale has been banned by the Italian and

Romanian governments, among others, with it being considered an unfair commercial practice [46–48].

The purpose of this study was to determine the distribution of processed meat products in individual Nutri-Score classes, thus distinguishing those that offer potentially better nutritional quality for consumers. It also determines how the distribution of individual products in the Nutri-Score classes was affected by reducing their sodium and saturated fat content and whether the use of a refined algorithm significantly contributed to a change in product classification.

2. Materials and Methods

2.1. Data Collection

The labels of an assortment of food products were reviewed for information on the nutritional value, ingredients, presence of food additives, and type of meat used in production (animal species). All products were classified as processed meat, including meat preparations and meat products, according to the definitions presented in Regulation 853/2004 [49]. The labels were gathered from 75 grocery stores representing five retail chains with the largest market share based on total revenues for 2018 [50], viz. Biedronka (JERONIMO MARTINS POLAND), Lidl (FRF Beteiligungs GmbH), Eurocash, a group that brings together stores such as Lewiatan, Groszek, and Delikatesy Centrum, and the Auchan. Finally, as the Tesco chain has since withdrawn from the Polish market, it was replaced by the Kaufland chain. Sampling was carried out in stores representing each of the above-mentioned retail chains in 11 cities with a population of more than 250,000 and six smaller cities [51], provided that the chains had a branch in the selected city. The labels were collected over a few months, from October 2020 to March 2021.

A total of 12,333 labels from meat preparations or meat products were taken for the study. The analysis identified 1967 unique processed meat products; of these 1700 assortments provided complete data, and only these were used for further analysis, accounting for 86.43% of the total sample. As the labels are not required to carry information on fibre content, an element of the algorithm, a request was sent to the relevant FBO to provide the necessary data. Data on fibre content was thus obtained for 1326 products, i.e., 78% of the analysed assortments. If no response was obtained, the fibre values were assigned based on the average value of the other products in the same assortment group.

2.2. Classification of Products

Processed meat was divided into two categories, viz. meat products and meat preparations according to the definitions given in Regulation (EC) 853/2004 [49]. The meat products were then divided into smoked meats, sausages, offal meats, and other meats, according to the criteria in the Polish Standard [52]. Based on the information contained in Regulation (EC) 853/2004, the meat was divided into red meat, i.e., of domestic ungulates, referred to in Section I of Annex III of the regulation, and white meat, i.e., of poultry and lagomorphs by Section II of Annex III of the regulation [49]. Due to the wide variety of products in these groups, they were divided further into subgroups according to meat species composition. A detailed breakdown of the groups is presented in Figure 1.

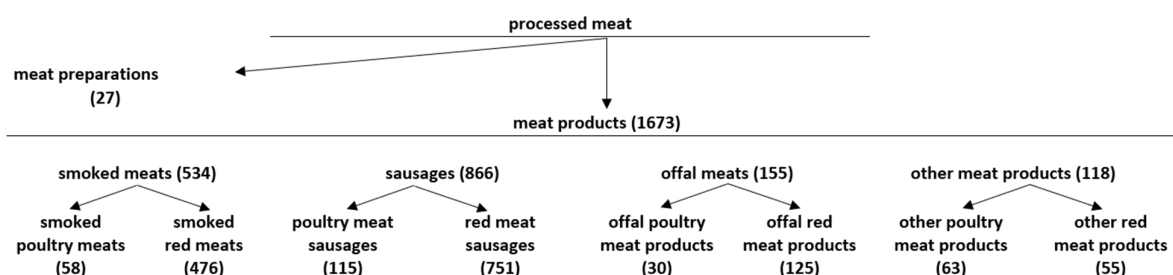


Figure 1. Technological and assortment groups of processed meat products analysed during the research.

2.3. Nutri-Score Calculations

Each product was analysed based on individual nutrient content per 100 g of food using the proposed algorithm [53]. The main algorithm of the Nutri-Score was modified by the Scientific Committee of the Nutri-Score (ScC) in 2022, *inter alia*, with regard to how the protein content in processed meat products is evaluated. Therefore, two calculations are presented below, i.e., one for the algorithm before the change (hereafter referred to as the *original algorithm*) and another after the change (hereafter referred to as the *refined algorithm*). The processed meat products were scored as follows: for *N*-components, i.e., for energy (0–10 points), sugars (0–10 points), saturated fatty acids (0–10 points), and sodium calculated from the salt content (0–10 points), and for *P*-components, i.e., for the content of fruits, vegetables, pulses, nuts, and rapeseed walnut and olive oils (%) (0–5 points), fibre (0–5 points), and protein (0–5 points in the original algorithm; 0–5 points for white meat or 0–2 points for red meat and its products according to the refined algorithm). The method of assigning points is shown in more detail in Table 1.

Table 1. Method of awarding points to a food product according to its content.

Points	N-Component					P-Component		
	Energy Density (kJ/100 g)	Sugar (g/100 g)	Saturated Fatty Acids (g/100 g)	Sodium (mg/100 g)	Fruits, Vegetables, Pulses, Nuts, and Rapeseed Walnut and Olive Oils (%)	Fibre (g/100 g)	Protein (g/100 g)	
							All Meat in the Original Algorithm and White Meat in the Refined Algorithm	Red Meat in the Refined Algorithm
0	≤335	≤4.5	≤1	≤90	≤40	≤0.9	≤1.6	≤2.4
1	>335	>4.5	>1	>90	>40	>0.9	>1.6	>2.4
2	>670	>9	>2	>180	>60	>1.9	>3.2	>4.8
3	>1005	>13.5	>3	>270	-	>2.8	>4.8	-
4	>1340	>18	>4	>360	-	>3.7	>6.4	-
5	>1675	>22.5	>5	>450	>80	>4.7	>8.0	-
6	>2010	>27	>6	>540	-	-	-	-
7	>2345	>31	>7	>630	-	-	-	-
8	>2680	>36	>8	>720	-	-	-	-
9	>3015	>40	>9	>810	-	-	-	-
10	>3350	>45	>10	>900	-	-	-	-

Since FBOs are not required to list the sodium content on their labels, the value was calculated based on the amount of salt included on the label i.e., the salt equivalent content [53,54]. The sodium content, (mg), can be calculated by dividing the amount of salt on the label (in g) by 2.5 and multiplying it by 1000.

Then, according to the rules of the algorithm, if the sum of the points awarded for the *N*-component was less than 11, the sum of the *P*-component points was subtracted from the figure obtained. The same calculation method was used where the sum of *N*-component points was greater than or equal to 11, but the number of points awarded for fruits, vegetables, pulses, nuts, and rapeseed walnuts and olive oils (%) was 5. However, if the total *N*-component value was greater than or equal to 11 but the number of points allocated for fruits, vegetables, pulses, nuts, and rapeseed walnut and olive oils (%) was less than 5 points, the points allocated for fruits, vegetables, pulses, nuts, rapeseed walnut and olive oils (%), and fibre were subtracted from the total *N*-component values.

Following this, based on the score, the product was then assigned to the appropriate class from A to E. Class A (dark green) included products that scored −1 point or less; class B (light green) included products that scored from 0 to 2 points; class C (yellow) included products that scored from 3 to 10 points; class D (orange) included products that scored from 11 to 18 points; and class E (dark orange) included products that scored 19 points and

above. The results of calculations made using the original algorithm were then compared with those of the refined algorithm.

Reformulation scenarios were also carried out, which included a 30% reduction in salt (sodium) and a 10% reduction in saturated fats both alone and in combination. The reformulation scenarios were based, in the case of salt, on the WHO's recommendation of a 30% reduction in salt (sodium) intake [55] and a 10% reduction in saturated fats.

2.4. Statistical Analyses

The distribution of the tested variables was verified with the Shapiro–Wilk test, which indicated that none were normally distributed. Therefore, further data analysis was performed using Kruskal–Wallis analysis of variance and logistic regression in SPSS software v29.0 (Armonk, NY, USA).

The Kruskal–Wallis analysis of variance was used to assess the differences in the following nutritional characteristics between different processed meat products: total score, energy (KJ), energy score, sugar content, sugar score, saturated fat acid content, SFA score, sodium content, sodium score, protein content, protein score, fibre content, and fibre score. In total, nine groups of products were included in the analysis: meat preparations, smoked poultry meats, smoked red meats, poultry meat sausages, red meat sausages, offal poultry meat products, offal red meat products, other poultry meat products, and other red meat products.

The effect of salt content on the presence of flavour enhancers in meat products was determined using logistic regression. In the model, the dependent variable was the presence of the flavour enhancer in the product (marked as 1) or the lack of the flavour enhancer in the product (marked as 0). The salt content was used as a covariate. The model was validated with the presence of correctly classified cases and the ROC curve.

3. Results

3.1. Distribution of the Nutri-Score Classes within Different Food Groups

Of the 1967 products obtained from the stores on the days of the survey, 1700 products had sufficient data to perform Nutri-Score calculations and were included in the analysis. Of the studied groups, meat products were much more common on the Polish market, accounting for more than 98.4% of all processed meat products, compared to meat preparations accounting for less than 1.6%. The most widely represented group within the category of meat products was sausages ($N = 866$, 51.76%), followed by smoked meats ($N = 534$, 31.92%), offal meats ($N = 155$, 9.26%) and formed meats ($N = 118$, 7.05%). Based on the refined algorithm, the largest number of processed meat products fell into the Nutri-Score class D ($N = 817$, 48.06%), with slightly fewer products in class E ($N = 701$, 41.24%) and significantly fewer products in class C ($N = 178$, 10.47%). Only four products, accounting for less than 0.25%, fell into classes A and B (Figure 2).

3.2. Comparison of Original and Refined Algorithms

The comparison of the original and refined algorithms indicated no difference in the number of products categorised as D and E between the two. In addition, only a virtually imperceptible ($N = 5$, 0.29%) reduction in the number of products categorised as B was noted in favour of C. The distribution of the Nutri-Score classes based on the original and refined algorithms according to food group and subgroup is shown in Table 2.

The distribution of products between classes based on the refined algorithm is illustrated in Figure 3. It also indicates the minimum and maximum point value awarded, the median value, and the dominant Nutri-Score class for each group of processed meat products.

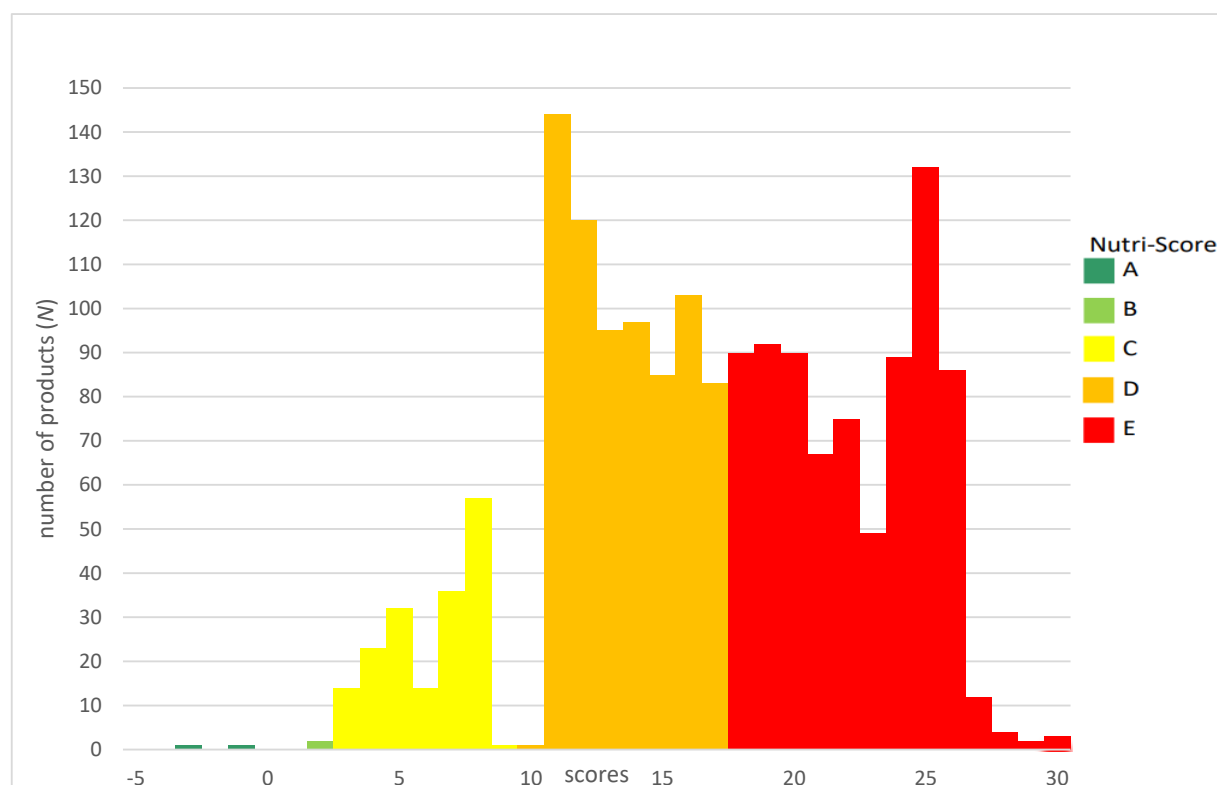


Figure 2. Nutri-Score distribution among yjr analysed processed meat products from the Polish market.

Table 2. Distribution of processed meat products, divided by group and Nutri-Score class, based on the original and refined algorithms.

	Class	Algorithm	Meat Preparations	Smoked Poultry Meats	Smoked Red Meats	Poultry Meat Sausages	Red Meat Sausages	Offal Poultry Meat Products	Offal Red Meat Products	Other Poultry Meat Products	Other Red Meat Products
Number of products (N)	A	original	1	1	0	0	0	0	0	0	0
		refined	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	B	original	0	1	5	0	0	0	0	1	0
		refined	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	C	original	1	23	73	5	6	5	16	33	11
		refined	1	23	78	5	6	5	16	33	11
	D	original	18	31	277	105	215	19	87	29	36
		refined	18	31	277	105	215	19	87	29	36
	E	original	7	2	121	5	530	6	22	0	8
		refined	7	2	121	5	530	6	22	0	8
Mean score (SD)		original	14.33	8.93	14.18	14.12	20.85	13.43	14.21	7.75	13.24
		refined	14.44	8.93	14.67	14.12	20.88	13.43	14.54	7.75	13.84

3.3. Comparison of White and Red Meat Products

Significant differences in Nutri-Score classification were found between white and red meat products, resulting from their different nutritional value. The energy density of white processed meat products is over one-third lower than that of red processed meat products, with it being on average about 706 kJ. Processed meat products made from red meat are characterised by higher levels of most nutrients per 100 g of the product, especially fat and SFAs, compared to white meat. A detailed comparison of the mean nutritional characteristics of those products is presented in Figure 4.

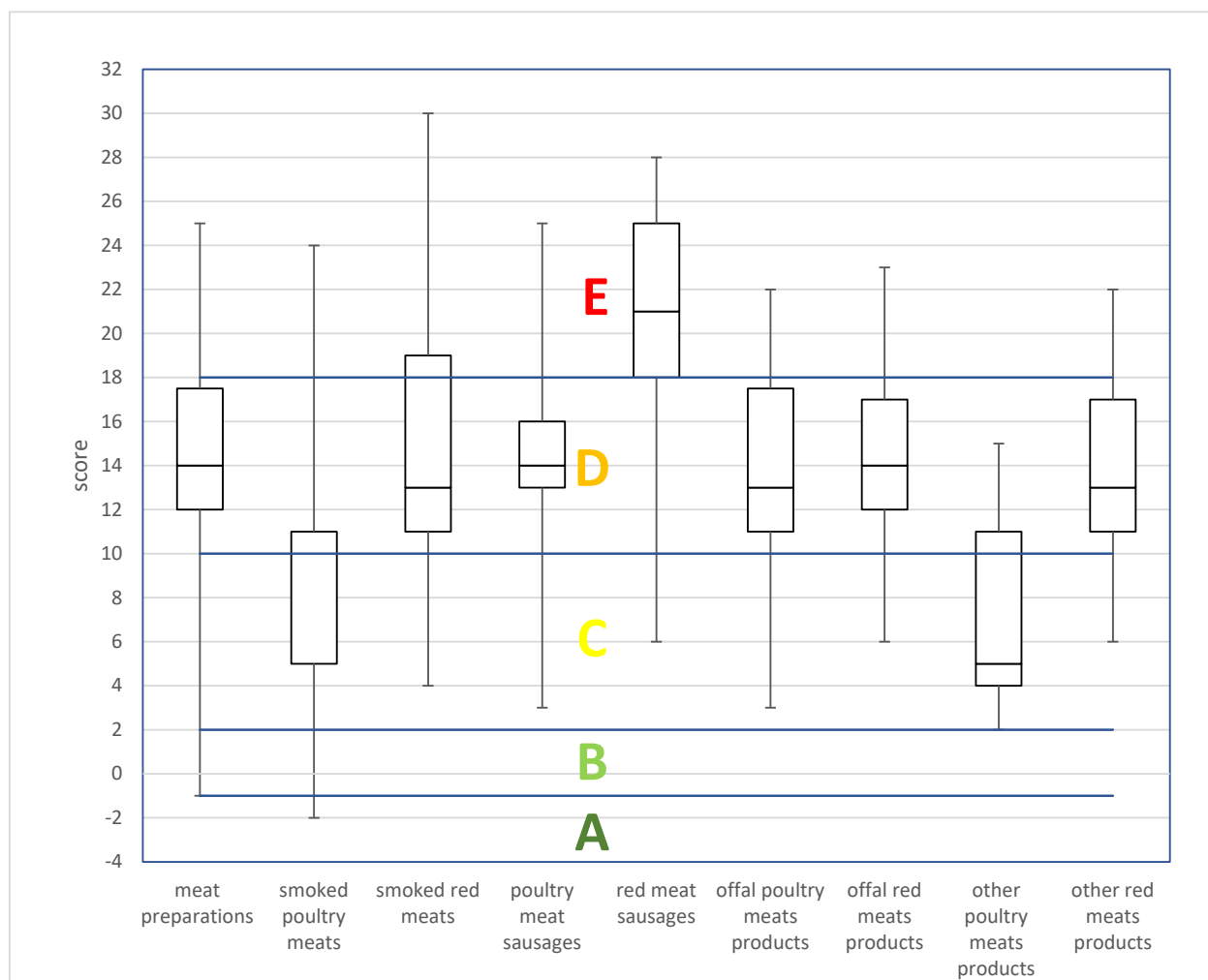


Figure 3. Overall distribution of products within the different food groups according to the refined algorithm. Horizontal lines represent the cut-offs of the five-category Nutri-Score. The box boundaries indicate the 25th percentile (lower boundary) and 75th percentile (top boundary), and the line within the box marks the median. Whiskers (error bars) at the bottom and top of the box indicate the minimum and maximum values.

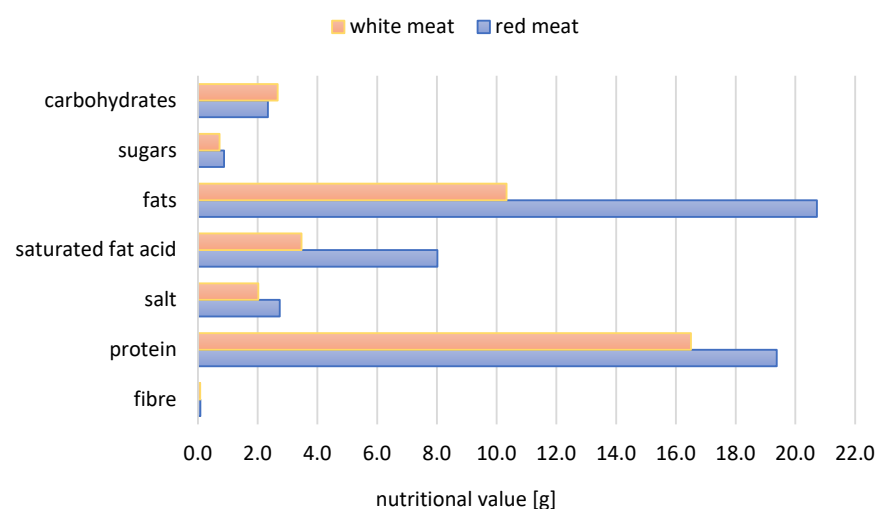


Figure 4. Average nutritional value in grams per 100 g of processed meat products according to their type.

The above differences are also reflected in the number of points awarded to particular products using the Nutri-Score algorithm (Figure 5); they indicated a more favourable classification for white meat products. The differences in algorithm components for the four main studied food groups are illustrated in Figure 6.

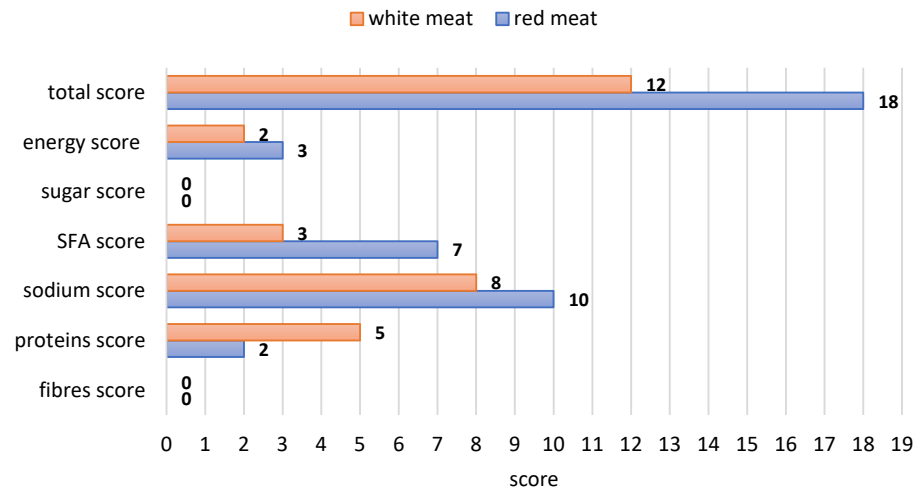


Figure 5. The average number of points awarded in particular categories during the assessment of nutritional value according to the Nutri-Score algorithm.

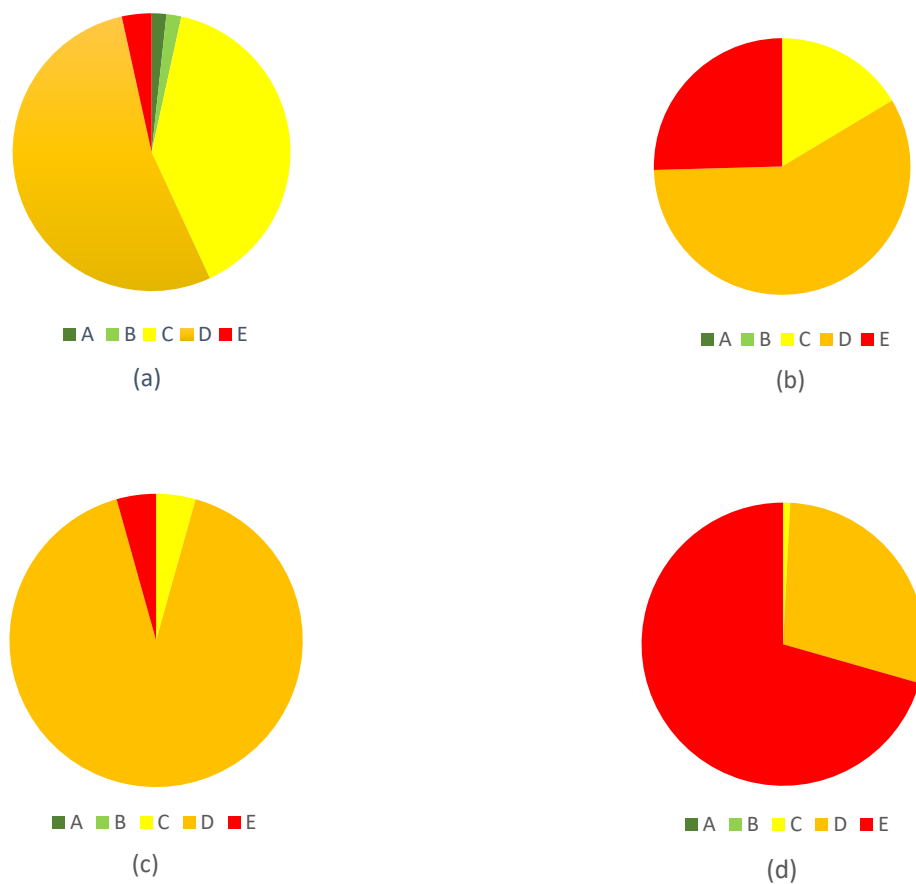


Figure 6. Cont.

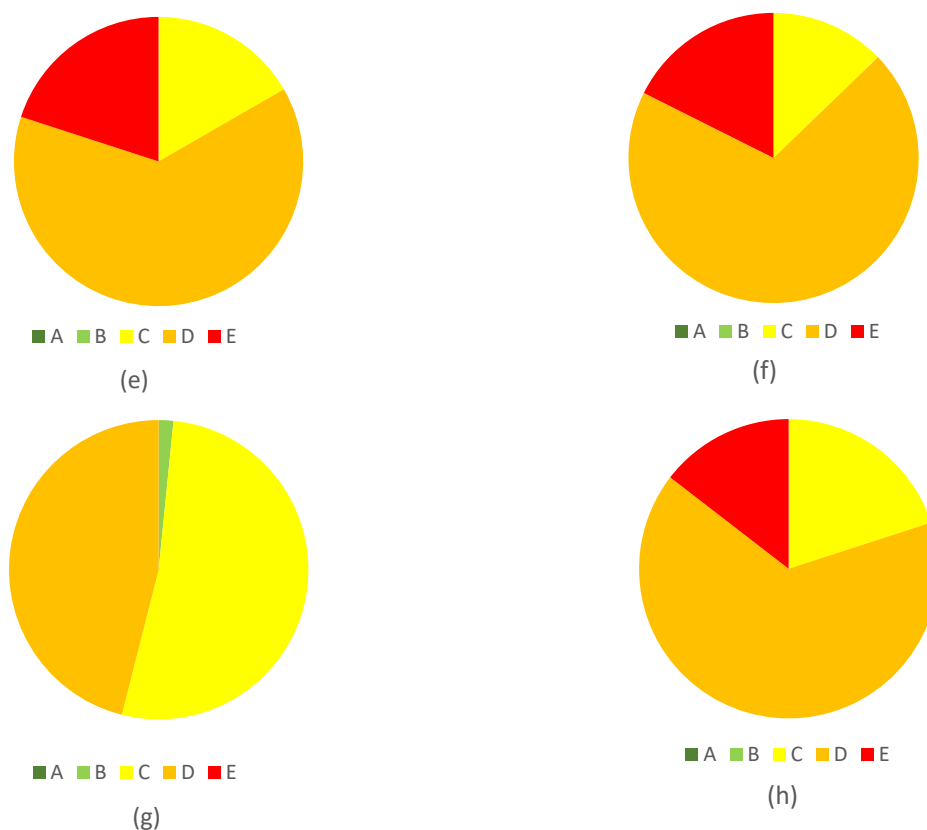


Figure 6. Nutri-Score distributions in the four food groups of smoked meats, sausages, offal meats, and other meat products: (a) smoked poultry meats, (b) smoked red meats, (c) poultry meat sausages, (d) red meat sausages, (e) offal poultry meat products, (f) offal red meat products, (g) other poultry meat products, and (h) other red meat products.

3.4. The Formulation Change Scenarios

The median scores for the *N*-components and *P*-components in each group of processed meat products were estimated based on the identified nutritional values of the processed meat products. Among the *N*-components, sodium as a component of salt received the highest score. The median point value for salt for all studied products was nine; the second and third places among the *N*-components went to saturated fatty acids, with six points, and energy density, with two points. None of the products received points for fruits, vegetables, pulses, nuts, and rapeseed walnut or olive oils, as these did not account for 40% of their composition. The median scores for fibre and sugars were zero (the means were 0.04 and 0.02, respectively) and, therefore, did not significantly affect the result of the calculations according to the Nutri-Score algorithm. The detailed data are included in Tables 3 and 4.

As a result of the formulation change, significant modifications in product allocations between Nutri-Score classes were observed. A 30% reduction in salt (sodium) resulted in a class change for 505 products, while a 10% reduction in saturated fatty acids resulted in a class change for 76 products. When the two were combined, it resulted in a classification change for 598 products. The modification of the allocation of meat preparations and meat products is presented in Figure 7. In both food categories, the use of the sodium reduction scenario results in a visible increase in the number of products classified in Nutri-Score class C while reducing the number of assortments classified in class E. Detailed data for the other food groups and subgroups are included in Table 5.

Table 3. Nutritional characteristics of processed meat products according to their type. The values are given as the median and interquartile range: x (y, z) where “x” is the median value, “y” indicates the 25th percentile, and “z” indicates the 75th percentile.

[illegible]

Table 4. Nutritional characteristics of meat products (cat. 8.3) according to their type, divided into particular Nutri-Score classes. The values are given as the median and interquartile range: x (y, z), where “x” is the median value, “y” indicates the 25th percentile, and “z” indicates the 75th percentile.

	Smoked Poultry Meats						Smoked Red Meats					
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E	
N	1	1	22	30	2		0	0	78	277	121	
total score	−3.0	2.0	5.0	11.0	24.0	(24.0, 24.0)	8.0	(7.0, 8.0)	13.0	(12.0, 15.0)	22.0	(20.0, 24.0)
KJ	346	481	438	544	1474	(435, 541)	478	(435, 541)	650	(498, 875)	1266	(1145, 1539)
energy score	1.0	1.0	1.0	1.0	4.0	(4.0, 4.0)	1.0	(1.0, 1.0)	1.0	(1.0, 2.0)	3.0	(3.0, 4.0)
sugars	0.1	0.0	0.6	0.5	0.7	(0.6, 0.7)	0.6	(0.5, 0.9)	0.5	(0.5, 0.9)	0.5	(0.5, 0.6)
sugar score	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)
SFAs	1.1	0.5	0.5	2.1	11.0	(11.0, 11.0)	1.1	(0.8, 1.5)	2.6	(1.5, 4.4)	11.0	(8.3, 13.0)
SFA score	1.0	0.0	0.0	2.0	10.0	(10.0, 10.0)	1.0	(0.0, 1.0)	2.0	(1.0, 4.0)	10.0	(8.0, 10.0)
sodium	80	600	800	920	1580	(1530, 1630)	760	(720, 800)	1000	(880, 1840)	1040	(880, 1840)
sodium score	0.0	6.0	8.0	10.0	10.0	(10.0, 10.0)	8.0	(7.0, 8.0)	10.0	(9.0, 10.0)	10.0	(9.0, 10.0)
protein	13.0	25.0	20.0	17.0	20.0	(20.0, 20.0)	20.0	(18.0, 22.8)	21.0	(16.9, 26.0)	17.0	(13.0, 26.0)
proteins score	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	(5.0, 5.0)	2.0	(2.0, 2.0)	2.0	(2.0, 2.0)	2.0	(2.0, 2.0)
fibre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)
fibre score	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)
Poultry Meat Sausages						Red Meat Sausages						
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E	
N	0	0	5	105	5		0	0	6	215	530	
total score			5.0	14.0	20.0	(19.0, 25.0)	8.0	(7.0, 8.0)	16.0	(14.0, 18.0)	24.0	(21.0, 25.0)
KJ			567	810	1152	(1108, 1708)	667	(492, 624)	944	(816, 1012)	1503	(1200, 1894)
energy score			1.0	2.0	3.0	(3.0, 3.0)	1.0	(1.0, 1.0)	2.0	(2.0, 3.0)	4.0	(3.0, 5.0)
sugars			0.5	0.5	0.7	(0.7, 1.1)	0.8	(0.7, 1.0)	0.5	(0.5, 0.7)	0.8	(0.5, 1.4)
sugar score			0.0	0.0	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)
SFAs			1.5	4.6	8.6	(7.7, 11.0)	1.4	(1.3, 1.6)	6.0	(4.1, 7.3)	12.0	(9.6, 15.0)
SFA score			1.0	4.0	8.0	(7.0, 10.0)	1.0	(1.0, 1.0)	5.0	(4.0, 7.0)	10.0	(9.0, 10.0)
sodium			720	800	1080	(920, 1120)	706	(603, 800)	840	(720, 980)	1240	(920, 1520)
sodium score			7.0	8.0	10.0	(10.0, 10.0)	7.0	(6.0, 8.0)	9.0	(7.0, 10.0)	10.0	(10.0, 10.0)
protein			23.5	15.0	14.0	(13.0, 15.0)	20.0	(19.3, 20.8)	17.0	(14.0, 23.0)	22.0	(15.0, 25.0)
protein score			5.0	5.0	5.0	(5.0, 5.0)	2.0	(2.0, 2.0)	2.0	(2.0, 2.0)	2.0	(2.0, 2.0)
fibre			0.0	0.0	0.0	(0.0, 0.1)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.1)	0.0	(0.0, 0.1)
fibre score			0.0	0.0	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)
Offal Poultry Meat Products						Offal Red Meat Products						
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E	
N	0	0	5	19	6		0	0	16	87	22	
total score			5.0	14.0	20.0	(19.0, 25.0)	7.0	(7.0, 8.0)	14.0	(13.0, 16.0)	21.0	(20.0, 22.0)
KJ			588	920	1218	(1215, 1318)	687	(604, 740)	914	(786, 1109)	1439	(1293, 1587)
energy score			1.0	2.0	3.0	(3.0, 4.0)	1.0	(1.0, 1.0)	2.0	(2.0, 4.0)	4.0	(3.0, 4.0)
sugars			0.7	1.6	0.7	(0.4, 1.4)	0.7	(0.5, 1.2)	0.7	(0.5, 1.0)	0.8	(0.6, 1.0)
sugar score			0.0	0.0	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)
SFAs			2.9	4.5	8.7	(8.5, 9.0)	2.8	(1.6, 3.3)	5.9	(4.5, 8.1)	12.9	(10.5, 14.0)
SFA score			2.0	4.0	10.0	(10.0, 10.0)	2.0	(1.0, 3.0)	5.0	(4.0, 8.0)	10.0	(10.0, 10.0)
sodium			600	680	600	(600, 720)	580	(430, 650)	680	(600, 732)	760	(680, 790)
sodium score			6.0	7.0	6.0	(6.0, 8.0)	6.0	(4.0, 7.0)	7.0	(6.0, 8.0)	8.0	(7.0, 8.0)
protein			15.0	14.0	8.7	(8.5, 9.0)	10.8	(8.8, 15.0)	13.1	(10.0, 15.0)	12.0	(8.7, 14.0)
protein score			5.0	5.0	5.0	(5.0, 5.0)	2.0	(2.0, 2.0)	2.0	(2.0, 2.0)	2.0	(2.0, 2.0)
fibre			0.1	0.4	0.1	(0.1, 0.1)	0.2	(0.1, 0.2)	0.2	(0.1, 0.5)	0.2	(0.1, 2.1)
fibre score			0.0	0.0	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.2)

Table 4. Cont.

	Other Poultry Meat Products					Other Red Meat Products							
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E			
N	0	1	33	29		0	0	11	36	8			
total score	2.0	4.0	(4.0, 5.0)	11.0	(11.0, 13.0)			8.0	(7.0, 8.0)	15.0	(12.0, 17.0)	22.0	(20.0, 22.0)
KJ	311	436	(407, 467)	585	(481, 721)			429	(371, 472)	744	(455, 849)	1458	(1193, 1635)
energy score	0.0	1.0	(1.0, 1.0)	1.0	(1.0, 2.0)			1.0	(1.0, 1.0)	2.0	(1.0, 2.0)	4.0	(3.0, 4.0)
sugars	0.8	0.7	(0.5, 0.9)	0.6	(0.4, 0.7)			0.7	(0.7, 0.8)	0.6	(0.5, 0.9)	0.9	(0.4, 1.5)
sugar score	0.0	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)			0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)
SFAs	1.4	0.8	(0.6, 1.2)	2.6	(1.2, 3.6)			1.3	(1.0, 1.8)	4.5	(1.5, 6.0)	8.7	(7.7, 10.5)
SFA score	1.0	0.0	(0.0, 1.0)	2.0	(1.0, 3.0)			1.0	(0.0, 1.0)	4.0	(1.0, 5.0)	8.0	(7.0, 9.0)
sodium	600	800	(720, 800)	840	(720, 1000)			800	(740, 820)	880	(800, 1000)	1020	(758, 1760)
sodium score	6.0	8.0	(7.0, 8.0)	9.0	(7.0, 10.0)			8.0	(8.0, 9.0)	9.0	(8.0, 10.0)	10.0	(8.0, 10.0)
protein	8.2	18.0	(16.0, 19.0)	17.0	(13.0, 18.0)			15.0	(14.0, 16.5)	13.5	(11.0, 15.3)	12.0	(11.0, 39.5)
protein score	5.0	5.0	(5.0, 5.0)	5.0	(5.0, 5.0)			2.0	(2.0, 2.0)	2.0	(2.0, 2.0)	2.0	(2.0, 2.0)
fibre	0.5	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.1)			0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.1)	0.0	(0.0, 0.1)
fibre score	0.0	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)			0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)	0.0	(0.0, 0.0)

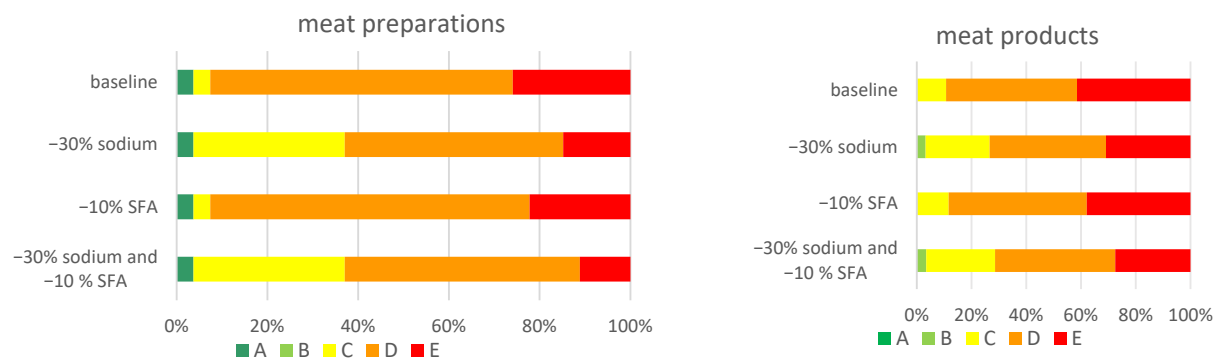


Figure 7. Modifications in product allocations between the Nutri-Score classes depending on the selected formulation change scenario.

Table 5. Distribution across Nutri-Score classes and change from the baseline distribution according to product reformulation. The values are given as “N”—the number of products and the “%”—the percentage of products assigned to a given Nutri-Score class in relation to all products in this food group.

Assortments Group		Nutritional Information Class									
		A		B		C		D		E	
		N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Baseline	meat preparations	1	3.70	0	0.00	1	3.70	18	66.67	7	25.93
	meat products	1	0.06	2	0.12	177	10.58	799	47.76	694	41.48
	smoked meats	1	0.19	1	0.19	101	18.91	308	57.68	123	23.03
	smoked poultry meats	1	1.72	1	1.72	23	39.66	31	53.45	2	3.45
	smoked red meats	0	0.00	0	0.00	78	16.39	277	58.19	121	25.42
	sausages	0	0.00	0	0.00	11	1.27	320	36.95	535	61.78
	poultry meat sausages	0	0.00	0	0.00	5	4.35	105	91.30	5	4.35
	red meat sausages	0	0.00	0	0.00	6	0.80	215	28.63	530	70.57
	offal meats	0	0.00	0	0.00	21	13.55	106	68.39	28	18.06
	offal poultry meat products	0	0.00	0	0.00	5	16.67	19	63.33	6	20.00
	offal red meat products	0	0.00	0	0.00	16	12.80	87	69.60	22	17.60
	other meat products	0	0.00	1	0.85	44	37.29	65	55.08	8	6.78
	other poultry meat products	0	0.00	1	1.59	33	52.38	29	46.03	0	0.00
	other red meat products	0	0.00	0	0.00	11	20.00	36	65.45	8	14.55
Minus 30% sodium	meat preparations	1	3.70	0	0.00	9	33.33	13	48.15	4	14.81
	meat products	1	0.06	53	3.17	392	23.43	710	42.44	517	30.90
	smoked meats	1	0.19	21	3.93	230	43.07	178	33.33	104	19.48
	smoked poultry meats	1	1.72	20	34.48	29	50.00	6	10.34	2	3.45
	smoked red meats	0	0.00	1	0.21	201	42.23	172	36.13	102	21.43

Table 5. Cont.

Assortments Group		Nutritional Information Class									
		A		B		C		D		E	
		N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Minus 10% SFAs	sausages	0	0.00	3	0.35	57	6.58	409	47.23	397	45.84
	poultry meat sausages	0	0.00	3	2.61	25	21.74	85	73.91	2	1.74
	red meat sausages	0	0.00	0	0.00	32	4.26	324	43.14	395	52.60
	offal meats	0	0.00	2	1.29	51	32.90	91	58.71	11	7.10
	offal poultry meat products	0	0.00	2	6.67	12	40.00	15	50.00	1	3.33
	offal red meat products	0	0.00	0	0.00	39	31.20	76	60.80	10	8.00
	other meat products	0	0.00	27	22.88	54	45.76	32	27.12	5	4.24
	other poultry meat products	0	0.00	27	42.86	27	42.86	9	14.29	0	0.00
	other red meat products	0	0.00	0	0.00	27	49.09	23	41.82	5	9.09
	meat preparations	1	3.70	0	0.00	1	3.70	19	70.37	6	22.22
	meat products	1	0.06	2	0.12	192	11.48	844	50.45	634	37.90
	smoked meats	1	0.19	1	0.19	107	20.04	315	58.99	110	20.60
	smoked poultry meats	1	1.72	1	1.72	25	43.10	29	50.00	2	3.45
Minus 30% sodium and 10% SFAs	smoked red meats	0	0.00	0	0.00	82	17.23	286	60.08	108	22.69
	sausages	0	0.00	0	0.00	13	1.50	357	41.22	496	57.27
	poultry meat sausages	0	0.00	0	0.00	7	6.09	104	90.43	4	3.48
	red meat sausages	0	0.00	0	0.00	6	0.80	253	33.69	492	65.51
	offal meats	0	0.00	0	0.00	23	14.84	111	71.61	21	13.55
	offal poultry meat products	0	0.00	0	0.00	6	20.00	22	73.33	2	6.67
	offal red meat products	0	0.00	0	0.00	17	13.60	89	71.20	19	15.20
	other meat products	0	0.00	1	0.85	49	41.53	61	51.69	7	5.93
	other poultry meat products	0	0.00	1	1.59	38	60.32	24	38.10	0	0.00
	other red meat products	0	0.00	0	0.00	11	20.00	37	67.27	7	12.73
	meat preparations	1	3.70	0	0.00	9	33.33	14	51.85	3	11.11
	meat products	1	0.06	57	3.41	421	25.16	734	43.87	460	27.50
	smoked meats	1	0.19	21	3.93	239	44.76	191	35.77	82	15.36
	smoked poultry meats	1	1.72	20	34.48	31	53.45	4	6.90	2	3.45
	smoked red meats	0	0.00	1	0.21	208	43.70	187	39.29	80	16.81
	sausages	0	0.00	3	0.35	72	8.31	427	49.31	364	42.03
	poultry meat sausages	0	0.00	3	2.61	33	28.70	77	66.96	2	1.74
	red meat sausages	0	0.00	0	0.00	39	5.19	350	46.60	362	48.20
	offal meats	0	0.00	3	1.94	57	36.77	86	55.48	9	5.81
	offal poultry meat products	0	0.00	3	10.00	12	40.00	14	46.67	1	3.33
	offal red meat products	0	0.00	0	0.00	45	36.00	72	57.60	8	6.40
	other meat products	0	0.00	30	25.42	53	44.92	30	25.42	5	4.24
	other poultry meat products	0	0.00	30	47.62	25	39.68	8	12.70	0	0.00
	other red meat products	0	0.00	0	0.00	28	50.91	22	40.00	5	9.09

3.5. Salt Content and the Presence of Flavour Enhancers in Products

Salt content significantly explained the presence of flavour enhancers in the products. The probability of flavour enhancers being present in the products decreased as the salt content increased ($X^2 = 168.4$, $df = 1$, $p < 0.001$) (Figure 8). However, the model was not well fitted because the percentage of correctly classified cases was only 63, and although the ROC was statistically significant, the AUC value was not high (AUC = 0.649).

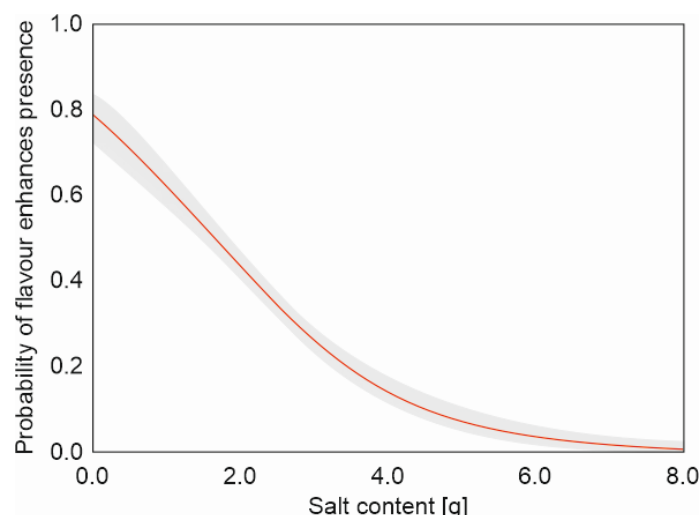


Figure 8. Probability (and CIs) of flavour enhancers being present against salt content in the meat products.

4. Discussion

The introduction of front-of-pack (FOP) labelling has two primary goals: the first is to help consumers make healthier food choices and the second is to encourage manufacturers to reformulate their current products or create new products that are considered healthier [56].

This study is the first to comprehensively describe the distribution of processed meat products according to Nutri-Score class. The results indicate that 89.3% of processed meat products on the Polish market are classified as class D or E. They should therefore be classified as being for limited consumption, which is in accordance with Polish dietary guidelines recommending, *inter alia*, more limited consumption of red meat and processed meat products [57,58]. Similar to a study conducted by Dréano-Trécant et al., which analysed products from eight European countries, including Poland, the present study found that processed meat could be classified into all five Nutri-Score classes [59]. Even so, the dominant class in the case of five countries, viz. Finland, Norway, Portugal, Sweden, and Poland, was class D, which is consistent with the results obtained in the present study. In the case of France and Switzerland, the dominant class was class E, and in Slovakia, it was class A [59]. A study performed on the German market found the total percentage of processed meat products categorised as D and E to be 95.8%, i.e., slightly higher than the present study, with the dominant class being E [60].

Our findings indicate that the use of the refined algorithm did not alter the allocation for products allocated to classes D and E. Although reducing the maximum number of points for the protein *P*-component, from five to two points [54], resulted in an increase in the mean number of points awarded to products in class C, it did not affect their movement to class D. However, a class change was noted for five products originally classified as B, which were classified into class C by the refined algorithm. Thus, our study indicates that the change in the algorithm does not cause any significant changes in the distribution of products between classes in the Polish market. Nevertheless, research conducted in the Belgian, French, German, and Dutch markets found that the use of the improved Nutri-Score algorithm resulted in a significant reallocation of processed meat products between classes. An increase of 16 percentage points in the E-class was noted in France, and 10 in the Netherlands, while in Germany, the percentage of products classified into the E-class more than doubled from 8 to 17% [54].

Among the products belonging to the same food group, both the original and refined Nutri-Score algorithms ranked products made from poultry meat more favourably than red meat. As such, the change in scoring to promote poultry meat over red meat did not affect this. In the case of poultry sausages, nearly 91.5% of the products were categorised

as D, while in the case of sausages made from red meat, nearly 71% were categorised as E. This may support research that suggests that increasing the consumption of white meat over red meat may be associated with a reduced risk of stomach cancer [18] and stroke [13].

Research in many countries shows that the placement of “Front-of-Pack” labels increases the ability of consumers to evaluate products regarding their nutritional quality and thus make healthier food choices [61–63]. It has been proposed that systems which rank products from more favourable to more negative are more understandable to consumers than those using only positive or negative information on the labels [64]. Furthermore, *interpretative* systems, particularly the Nutri-Score, have been found to offer consumers more help in ranking the overall nutritional quality of food products in numerous European countries. In Belgium, France, Germany, Spain, the United Kingdom, Denmark, Bulgaria, the Netherlands, Switzerland, Portugal, Greece, and Poland, the Nutri-Score emerged as the most efficient approach to informing consumers about the nutritional quality of food products [62,65–72]. This could be attributed to the ease with which consumers interpret labels incorporating colour-coding [68,73] as opposed to nutrient-specific systems; the latter heavily depend on numerical information, demanding a cognitive workload that may impede comprehension and utilisation in purchasing scenarios [68].

Furthermore, Engell et al. report that FOP labels can contribute to a decrease in mortality associated with diet-related non-communicable diseases, with Nutri-Score proving to be the most effective among them. It is estimated that around 3.4% of all cases of deaths from diet-related non-communicable diseases could be prevented through the implementation of a Nutri-Score FOP label [74] and that the Nutri-Score FOP labels promote healthier dietary decisions among individuals dealing with chronic cardiometabolic diseases [75].

In the authors’ opinion, processed meat products and their groups exhibit a wide variability in nutritional quality, and it is not easy for an average consumer to see the difference between them. As such, the use of a five-point scale for evaluating processed meat products could allow consumers to effectively distinguish the nutritional quality of different types of processed meats within the same group; in such cases, proper product labelling would allow them to make more conscious decisions. However, Nutri-Score is an interpretative system, not an information system; while it may help consumers choose a better product from a specific product group, it provides limited information for people with specific dietary needs [76].

The use of interpretative labels on the front of packaging, such as Nutri-Score, often faces criticism. For example, identical scores can be obtained by products with diverse nutritional characteristics, and the score does not provide information about specific nutrients like sugars, salt, and saturated fats, which may be important to particular consumer groups; as such, products with the same rating may have different effects on health depending on individual characteristics [77]. Therefore, according to Carruba et al., Nutri-Score FOP labels do little to help individuals identify foods more or less suited to their specific needs [76]. In addition, the algorithm used for the Nutri-Score labelling system involves assessing the content of selected ingredients and energy per 100 g of the product without considering the size of the food portion that is usually consumed. Consequently, there is a risk that better-rated products may be generally consumed in larger quantities, especially when they come in large packages; such greater consumption can have a more significant impact on the overall nutritional quality of the diet compared to other foods with less favourable Nutri-Score ratings but may be consumed in much smaller amounts [76,78].

Julia et al. demonstrated that a nutritional label based on FSA score could help consumers make healthier food choices and potentially play a role in long-term obesity prevention [79]. Also, Egnell et al. report that consumers with lower dietary indices based on nutrient profiling systems (NPS), used to classify foods according to their nutritional value, had a lower body mass index (BMI) gain over time and were much less likely to become overweight [80]. In contrast, Carruba et al. propose that the Nutri-Score scale does not help maintain a normal BMI and does not reduce the likelihood of becoming overweight or developing obesity, mainly because this rating refers to 100 g of the product

and not to the portion size, making it challenging to monitor energy intake and control body weight [76].

Nevertheless, implementing FOP labelling has encouraged manufacturers to reformulate their current products or create new products considered healthier, resulting in significant public health benefits [81,82]. After being introduced in New Zealand by the National Heart Foundation of New Zealand (NHF), the FOP Tick programme has allowed consumers to identify healthier product options in relation to heart disease within the same food category; this has led to FBOs excluding 33 tons of salt from breakfast cereals, breads, and margarine products in one year by reformulating these products [82,83]. A similar scenario was observed in Australia [84]. In addition, in order to meet its requirements, the products bearing the logo of the FOP Tick programme are characterised by lower energy, trans-fatty acids (TFAs), saturated fatty acids (SFAs), and sodium contents [85], and the inclusion of the programme's logo became part of the marketing strategy of many food companies [85].

Similar results were obtained following the introduction of the FOP Health Check programme in Canada and the Choices logo in the Netherlands, which prompted food manufacturers in the country to reformulate existing products and develop new ones with healthier ingredients [56,86]. As a result, total fat, SFAs, TFAs, sodium, and sugar intake was reduced, and fibre intake increased [56]. Moreover, an analysis performed in New Zealand, two years after introducing the FOP Health Star Rating, the successor of the FOP Tick programme, found some foods to have been reformulated as healthier products [87].

Our present findings indicate that the processed meat products received the most points from in the *N*-component group due to their sodium content as a component of salt. This is in line with WHO data indicating that most people consume too much salt [34], with Poland demonstrating the highest salt intake among nine studied European countries [88]. These data, together with estimates that 20–30% of salt in the diet comes from meat and processed meat products [89,90] emphasises the importance of reducing salt consumption from meat products. High salt intake may be associated with many adverse health effects, such as an increased risk of hypertension [89,91], which in turn results in an increased risk of stroke and cardiovascular disease [92]; it is also associated with higher cardiovascular mortality [93] and all-cause premature mortality [94,95], as well as an increased risk of stomach cancer and kidney disease and a higher risk of becoming overweight and developing obesity [91]. However, it is important to remember that sodium is an essential nutrient, and too little sodium also negatively affects the human body by increasing the levels of renin and aldosterone [96]. Indeed, the lowest risk of cardiovascular events and death from such events is observed in populations with a medium sodium intake [96–98].

All WHO member states pledged in 2013 to implement programmes to reduce salt intake from food and that the amount of salt consumed in food should be reduced by 30% by 2025 [55]. Hendriksen et al. estimated that a 30% reduction in dietary salt intake in Poland would reduce the incidence of stroke by 13.5%, ischaemic heart disease by 8.9%, and deaths from cardiovascular disease by 5% [88]. In the present study, a simulated 30% reduction in the amount of salt used in processed meat products (Table 5) resulted in a 29.71% modification of product allocation between categories: a marked decrease in the number of products assigned to class E and an increase in the number of products assigned to class B. As such, it can be speculated that considering only the nutritional values, reducing the amount of salt used in processed meat products will make these products healthier for consumers.

However, reduced-salt meat products often have a different texture and flavour to those produced conventionally; such changes may foster consumer aversion to them, and limit the effectiveness of the salt reduction programmes [99]. In addition to influencing the taste of food [98,99], salt plays many other functions in food products, such as extending shelf life and preserving food by reducing water activity [88,89,100–102]; it can also act as a binding agent between meat and fat and promote the dissolution of microfibrillar

proteins to maintain the proper texture of products [88,89]. Hence, the primary challenge facing the meat industry is to reduce salt concentrations while maintaining the sensory acceptability, cost, with salt being cheaper than substitutes [98], and safety of processed meat products [103,104].

Our study found that lower-salt products were more likely to contain flavour enhancers than salt-rich products. Often, the development of reduced-salt products involves greater use of flavour enhancers and agents to mask an undesirable taste [89,105,106]. Such substitutes include other chloride salts, such as KCl [107–110], CaCl_2 , and MgCl_2 [111,112], non-chloride salts, such as lactate and diacetate [113], or flavour enhancers, such as arginine, lysine, sodium inosinate, sodium guanylate, taurine, glycine, yeast extracts, and monosodium glutamate [105,114–116].

Our research showed that processed meat products also received a high score in the *N*-component group, particularly regarding saturated fatty acid (SFA) content. High fat intake has been linked to the onset of many lifestyle diseases, and excessive consumption of SFAs is a factor in cardiovascular disease [117,118]. It has been found that removing SFAs can result in healthier processed meat products and that choosing low-fat food may lower the risk of colorectal cancer (CRC) associated with consuming processed meat [119].

However, it is important to remember, that in addition to providing energy, fats strongly influence the consistency, taste and appearance of a product, in addition to its characteristic structure and flavour [120]. Therefore, limiting the SFA content in a product may involve the need to use fat substitutes to maintain its sensory attractiveness [120,121]. Most importantly, these substitutes will also affect the energy content of the product and, thus, its overall Nutri-Score rating.

Research indicates that the Nutri-Score is well perceived and understood by consumers and has performed well in studies comparing the nutritional quality of products. Food labelling on the front of the package is an effective way to in promote consumer awareness and can help consumers make beneficial choices [63,75,122–125]. However, it should be noted that the Nutri-Score system has some limitations: the rating only applies to 100 g of the product and not a typical food portion, and due to its simplified nature, the algorithm does not address other aspects of the products, such as certain food additives or mechanically separated meat, or their mineral, vitamin, or specific fatty acid content [78]. Furthermore, the results show that the presence of FOP labels may reduce the attention consumers pay to the nutritional information on food packaging, suggesting possible over-reliance on the information presented on the front. This is often the case with interpretative labels offering a summary of the overall healthfulness of the product, like Nutri-Score [126].

Our study has some limitations. Due to our desire to obtain a comprehensive overview of the Polish market and include as many products as possible, our analyses were based on data obtained from processed meat product labels. Therefore, our calculations were based on the results of chemical tests of products carried out by FBOs and not on our chemical analyses. Consequently, the study was restricted to products that provided complete information on their labels. Moreover, because labels are not required to carry information on fibre content (an element of the algorithm), these data had to be obtained directly from the FBOs; in some cases where the exact data were not available, average values were assigned. Furthermore, it was not possible to calculate a precise energy score in the 10% SFA reduction scenario as it was unclear whether the SFAs had been replaced with a fat substitute and which type. As such, the product may have been underestimated or overestimated with regard to its final score.

To effectively support the harmonisation of FOP labelling in European countries, there is clearly a need for more comprehensive research considering other food groups on the European and Polish markets. These studies should focus on determining the effectiveness of the refined Nutri-Score algorithm in helping consumers identify the nutritional quality of a food item. Moreover, as the Nutri-Score algorithm is based on the analysis of ingredients in 100 g of a product, and not a standard consumed portion, it seems advisable to determine

whether it has any real impact on limiting the consumption of ingredients considered potentially undesirable.

We believe that our study results can become a starting point for conducting such research, and to extend this to encompass products not included in the Nutri-Score algorithm, such as food additives and minerals or vitamins. It can also examine the relationship between their occurrence and concentration in the Nutri-Score class.

5. Conclusions

In summary, almost 90% of the meat products available on the Polish market were found to fall into Nutri-Score classes D and E, with poultry meat products being classified more favourably than red meat products. The investigated products were awarded the highest negative scores for sodium content, followed by SFA content. A 30% reduction in salt content significantly altered the classification for 505 products, while a 10% reduction in SFA content resulted in a class change for 76 products. The simultaneous application of both scenarios resulted in the reclassification of 598 products. In addition, products with a lower salt content were more likely to contain flavour enhancers, most likely to improve the sensory value.

Our research shows that among processed meat, it is possible to distinguish assortments that have been ranked higher than others and are considered better for the consumer from a nutritional value point of view. Applying the refined algorithm did not significantly modify the allocation of processed meat products on the Polish market; this finding casts doubt on the value of the introduced changes regarding the Nutri-Score classification of processed meat.

Hence, there is a need for more information regarding the effectiveness by which Nutri-Score can be used to distinguish nutritional quality in countries applying the refined algorithm. The findings could play an important role in introducing a harmonised system of FOP labelling in European Union countries.

Author Contributions: Conceptualisation, K.C.-Z. and K.A.; methodology, K.C.-Z. and D.K.; validation, K.C.-Z. and J.Z.; formal analysis, K.C.-Z., A.D. and D.K.; investigation, K.C.-Z.; resources, K.C.-Z.; data curation, K.C.-Z.; writing—original draft preparation, K.C.-Z.; writing—review and editing, A.D., J.Z., A.J.-T. and K.A.; visualisation, K.C.-Z. and D.K.; supervision, A.J.-T., J.Z. and K.A.; project administration, K.C.-Z. 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: The data presented in this study are available from the corresponding author upon request.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Geiker, N.R.W.; Bertram, H.C.; Mejbörn, H.; Dragsted, L.O.; Kristensen, L.; Carrascal, J.R.; Bügel, S.; Astrup, A. Meat and Human Health—Current Knowledge and Research Gaps. *Foods* **2021**, *10*, 1556. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
2. Laskowski, W.; Górska-Warsewicz, H.; Kulykovets, O. Meat, Meat Products and Seafood as Sources of Energy and Nutrients in the Average Polish Diet. *Nutrients* **2018**, *10*, 1412. [\[CrossRef\]](#)
3. Thornton, P.K. Livestock production: Recent trends, future prospects. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Biol. Sci.* **2010**, *365*, 2853–2867. [\[CrossRef\]](#)
4. Daniel, C.R.; Cross, A.J.; Koebnick, C.; Sinha, R. Trends in meat consumption in the USA. *Public Health Nutr.* **2011**, *14*, 575–583. [\[CrossRef\]](#)
5. Pan, A.; Sun, Q.; Bernstein, A.M.; Schulze, M.B.; Manson, J.E.; Willett, W.C.; Hu, F.B. Red meat consumption and risk of type 2 diabetes: 3 cohorts of US adults and an updated meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* **2011**, *94*, 1088–1096. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
6. Micha, R.; Wallace, S.K.; Mozaffarian, D. Red and processed meat consumption and risk of incident coronary heart disease, stroke, and diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Circulation* **2010**, *121*, 2271–2283. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

7. Steinbrecher, A.; Erber, E.; Grandinetti, A.; Kolonel, L.N.; Maskarinec, G. Meat consumption and risk of type 2 diabetes: The Multiethnic Cohort. *Public Health Nutr.* **2011**, *14*, 568–574. [\[CrossRef\]](#)
8. Micha, R.; Michas, G.; Mozaffarian, D. Unprocessed red and processed meats and risk of coronary artery disease and type 2 diabetes—An updated review of the evidence. *Curr. Atheroscler. Rep.* **2012**, *14*, 515–524. [\[CrossRef\]](#)
9. Schwingshackl, L.; Hoffmann, G.; Lampousi, A.M.; Knüppel, S.; Iqbal, K.; Schwedhelm, C.; Bechthold, A.; Schlesinger, S.; Boeing, H. Food groups and risk of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Eur. J. Epidemiol.* **2017**, *32*, 363–375. [\[CrossRef\]](#)
10. Zhang, R.; Fu, J.; Moore, J.B.; Stoner, L.; Li, R. Processed and Unprocessed Red Meat Consumption and Risk for Type 2 Diabetes Mellitus: An Updated Meta-Analysis of Cohort Studies. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 10788. [\[CrossRef\]](#)
11. Abete, I.; Romaguera, D.; Vieira, A.R.; Lopez de Munain, A.; Norat, T. Association between total, processed, red and white meat consumption and all-cause, CVD and IHD mortality: A meta-analysis of cohort studies. *Br. J. Nutr.* **2014**, *112*, 762–775. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
12. Yang, C.; Pan, L.; Sun, C.; Xi, Y.; Wang, L.; Li, D. Red Meat Consumption and the Risk of Stroke: A Dose-Response Meta-analysis of Prospective Cohort Studies. *J. Stroke Cerebrovasc. Dis.* **2016**, *25*, 1177–1186. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
13. Kim, K.; Hyeon, J.; Lee, S.A.; Kwon, S.O.; Lee, H.; Keum, N.; Lee, J.K.; Park, S.M. Role of Total, Red, Processed, and White Meat Consumption in Stroke Incidence and Mortality: A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *J. Am. Heart Assoc.* **2017**, *6*, e005983. [\[CrossRef\]](#)
14. Kaluza, J.; Wolk, A.; Larsson, S.C. Red meat consumption and risk of stroke: A meta-analysis of prospective studies. *Stroke* **2012**, *43*, 2556–2560. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
15. Chen, G.C.; Lv, D.B.; Pang, Z.; Liu, Q.F. Red and processed meat consumption and risk of stroke: A meta-analysis of prospective cohort studies. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2013**, *67*, 91–95. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
16. Keszei, A.P.; Schouten, L.J.; Goldbohm, R.A.; van den Brandt, P.A. Red and processed meat consumption and the risk of esophageal and gastric cancer subtypes in The Netherlands Cohort Study. *Ann. Oncol.* **2012**, *23*, 2319–2326. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
17. Qu, X.; Ben, Q.; Jiang, Y. Consumption of red and processed meat and risk for esophageal squamous cell carcinoma based on a meta-analysis. *Ann. Epidemiol.* **2013**, *23*, 762–770. [\[CrossRef\]](#)
18. Kim, S.R.; Kim, K.; Lee, S.A.; Kwon, S.O.; Lee, J.K.; Keum, N.; Park, S.M. Effect of Red, Processed, and White Meat Consumption on the Risk of Gastric Cancer: An Overall and Dose-Response Meta-Analysis. *Nutrients* **2019**, *11*, 826. [\[CrossRef\]](#)
19. Cross, A.J.; Leitzmann, M.F.; Gail, M.H.; Hollenbeck, A.R.; Schatzkin, A.; Sinha, R. A prospective study of red and processed meat intake in relation to cancer risk. *PLoS Med.* **2007**, *4*, e325. [\[CrossRef\]](#)
20. Chan, D.S.; Lau, R.; Aune, D.; Vieira, R.; Greenwood, D.C.; Kampman, E.; Norat, T. Red and processed meat and colorectal cancer incidence: Meta-analysis of prospective studies. *PLoS ONE* **2011**, *6*, e20456. [\[CrossRef\]](#)
21. International Agency for Research on Cancer (IARC). *Estimates of the Cancer Incidence and Mortality in 2018, and Projections for the Next 20 Years*; IARC Press: Lyon, France, 2018; Volume 263. Available online: https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr240_E.pdf (accessed on 18 March 2023).
22. Larsson, S.C.; Wolk, A. Red and processed meat consumption and risk of pancreatic cancer: Meta-analysis of prospective studies. *Br. J. Cancer* **2012**, *106*, 603–607. [\[CrossRef\]](#)
23. Guo, J.; Wei, W.; Zhan, L. Red and processed meat intake and risk of breast cancer: A meta-analysis of prospective studies. *Breast Cancer Res. Treat.* **2015**, *151*, 191–198. [\[CrossRef\]](#)
24. Inoue-Choi, M.; Sinha, R.; Gierach, G.L.; Ward, M.H. Red and processed meat, nitrite, and heme iron intakes and postmenopausal breast cancer risk in the NIH-AARP Diet and Health Study. *Int. J. Cancer* **2016**, *138*, 1609–1618. [\[CrossRef\]](#)
25. Farvid, M.S.; Stern, M.C.; Norat, T.; Sasazuki, S.; Vineis, P.; Weijenberg, M.P.; Wolk, A.; Wu, K.; Stewart, B.W.; Cho, E. Consumption of red and processed meat and breast cancer incidence: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Int. J. Cancer* **2018**, *143*, 2787–2799. [\[CrossRef\]](#)
26. Anderson, J.J.; Darwis, N.D.M.; Mackay, D.F.; Celis-Morales, C.A.; Lyall, D.M.; Sattar, N.; Gill, J.M.R.; Pell, J.P. Red and processed meat consumption and breast cancer: UK Biobank cohort study and meta-analysis. *Eur. J. Cancer* **2018**, *90*, 73–82. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
27. Larsson, S.C.; Orsini, N. Red meat and processed meat consumption and all-cause mortality: A meta-analysis. *Am. J. Epidemiol.* **2014**, *179*, 282–289. [\[CrossRef\]](#)
28. Zhong, V.W.; Van Horn, L.; Greenland, P.; Carnethon, M.R.; Ning, H.; Wilkins, J.T.; Lloyd-Jones, D.M.; Allen, N.B. Associations of Processed Meat, Unprocessed Red Meat, Poultry, or Fish Intake With Incident Cardiovascular Disease and All-Cause Mortality. *JAMA Intern. Med.* **2020**, *180*, 503–512. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
29. Wang, X.; Lin, X.; Ouyang, Y.Y.; Liu, J.; Zhao, G.; Pan, A.; Hu, F.B. Red and processed meat consumption and mortality: Dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Public Health Nutr.* **2016**, *19*, 893–905. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
30. Pan, A.; Sun, Q.; Bernstein, A.M.; Schulze, M.B.; Manson, J.E.; Stampfer, M.J.; Willett, W.C.; Hu, F.B. Red meat consumption and mortality: Results from 2 prospective cohort studies. *Arch. Intern. Med.* **2012**, *172*, 555–563.
31. Rohrmann, S.; Overvad, K.; Bueno-de-Mesquita, H.B.; Jakobsen, M.U.; Egeberg, R.; Tjønneland, A.; Nailler, L.; Boutron-Ruault, M.C.; Clavel-Chapelon, F.; Krogh, V.; et al. Meat consumption and mortality—Results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. *BMC Med.* **2013**, *11*, 63. [\[CrossRef\]](#)

32. Stoś, K.; Rychlik, E.; Woźniak, A.; Ołtarzewski, M. Red and Processed Meat Consumption in Poland. *Foods* **2022**, *11*, 3283. [CrossRef]
33. Micha, R.; Khatibzadeh, S.; Shi, P.; Andrews, K.G.; Engell, R.E.; Mozaffarian, D.; Global Burden of Diseases Nutrition and Chronic Diseases Expert Group (NutriCoDE). Global, regional and national consumption of major food groups in 1990 and 2010: A systematic analysis including 266 country-specific nutrition surveys worldwide. *BMJ Open* **2015**, *5*, e008705.
34. World Health Organization. Salt Reduction. Available online: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/salt-reduction> (accessed on 10 March 2023).
35. Regulation (EC) No. 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on the provision of food information to consumers. *Off. J. Eur. Union* **2011**, L304, 18–63.
36. World Health Organization. *Global Status Report on Noncommunicable Diseases 2014*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2014; pp. 1–302.
37. World Health Organization. *Report of the Commission on Ending Childhood Obesity*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2016; pp. 1–68.
38. World Health Organization. *Guiding Principles and Framework Manual for Front-of-Pack Labelling for Promoting Healthy Diet*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2018; pp. 1–46.
39. World Health Organization. *Technical Meeting on Nutrition Labelling for Promoting Healthy Diets*; World Health Organization: Lisbon, Portugal, 2015; pp. 1–2.
40. Kanter, R.; Vanderlee, L.; Vandevijvere, S. Front-of-package nutrition labelling policy: Global progress and future directions. *Public Health Nutr.* **2018**, *21*, 1399–1408. [CrossRef] [PubMed]
41. Nutrinform Battery. Available online: <https://www.nutrinformbattery.it/> (accessed on 18 March 2023).
42. UK Government. Front-of-Pack (FoP) Nutrition Labelling: Guidance. Available online: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/566251/FoP_Nutrition_labelling_UK_guidance.pdf (accessed on 18 March 2023).
43. European Commission. *Report from the Commission to the European Parliament and the Council Regarding the Use of Additional Forms of Expression and Presentation of the Nutrition Declaration*. COM(2020) 207 Final; European Commission: Brussels, Belgium, 2020; pp. 1–27.
44. Eurofins. Nutri-Score. Available online: <https://www.eurofins.de/food-analysis/food-news/food-testing-news/nutri-score/> (accessed on 18 March 2023).
45. Swiss Federal Food Safety and Veterinary Office. Nutri-Score. Available online: <https://www.blv.admin.ch/nutri-score> (accessed on 19 March 2023).
46. Italian Competition Authority (AGCM). Bollettino 29/2022. Available online: <https://www.agcm.it/pubblicazioni/bollettino-settimanale/2022/29/Bollettino-29-2022> (accessed on 19 March 2023).
47. Food Compliance International. Italian Competition Authority (AGCM) Sanctions the Use of Nutri-Score Once Again. Available online: <https://foodcomplianceinternational.com/industry-insight/scholarly-articles/3253-italian-competition-authority-agcm-sanctions-the-use-of-nutriscore-once-again> (accessed on 19 March 2023).
48. Food Navigator. Romania Prepares for Nutri-Score Ban: A Regrettable Decision for Some. Available online: <https://www.foodnavigator.com/Article/2023/04/26/romania-prepares-for-nutri-score-ban-a-regrettable-decision-for-some> (accessed on 29 April 2023).
49. Regulation (EC) No. 853/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004. Laying down specific hygiene rules for food of animal origin. *Off. J. Eur. Union* **2004**, L139, 55–205.
50. Ministry of Finance. Dane z Zeznań Podatkowych Podatników, o Których Mowa w art. 27b Ustawy z dnia 15 Lutego 1992 r. o Podatku Dochodowym od Osób Prawnych (Dz. U. z 2017 r. poz. 2343, ze zm.) oraz w Ustawie z 24 Listopada 2017 r. o Zmianie Ustawy o Podatku Dochodowym od Osób Prawnych (Dz. U. poz. 2369). Available online: <https://gov.pl> (accessed on 16 June 2019).
51. Statistics Poland. Demographic Yearbook of Poland 2018. Available online: <https://stat.gov.pl> (accessed on 17 June 2019).
52. *Polska Norma PN-A-82007*; Przetwory Mięsne—Wędliny. Polish Committee for Standardization: Warsaw, Poland, 1996; pp. 1–12.
53. Public Health France. Nutri-Score Frequently Asked Question. Available online: <https://www.santepubliquefrance.fr/media/files/02-determinants-de-sante/nutrition-et-activite-physique/nutri-score/q-r-scientifique-technique-en> (accessed on 18 May 2020).
54. Scientific Committee of the Nutri-Score. Update of the Nutri-Score Algorithm. Available online: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/Nutri_Score/2022_main_algorithm_report_update_FINAL.pdf (accessed on 24 February 2023).
55. World Health Organization. *Salt Reduction and Iodine Fortification Strategies in Public Health: Report of a Joint Technical Meeting Convened by the World Health Organization and the George Institute for Global Health in Collaboration with the International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders Global Network, Sydney, Australia, March 2013*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2014; pp. 1–36.
56. Vyth, E.L.; Steenhuis, I.H.; Roodenburg, A.J.; Brug, J.; Seidell, J.C. Front-of-pack nutrition label stimulates healthier product development: A quantitative analysis. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* **2010**, *7*, 65. [CrossRef] [PubMed]
57. Narodowe Centrum Edukacji Żywnościowej. A Plate of Healthy Eating. Available online: <https://ncez.pzh.gov.pl/abc-zywienia/zasady-zdrowego-zywienia/talerz-zdrowego-zywienia/> (accessed on 13 March 2023).

58. European Commission. Food-Based Dietary Guidelines for Europe. Available online: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/health-promotion-knowledge-gateway/food-based-dietary-guidelines-europe-table-8_en (accessed on 18 March 2023).
59. Dréano-Trécant, L.; Egnell, M.; Hercberg, S.; Galan, P.; Soudon, J.; Fialon, M.; Touvier, M.; Kesse-Guyot, E.; Julia, C. Performance of the Front-of-Pack Nutrition Label Nutri-Score to Discriminate the Nutritional Quality of Foods Products: A Comparative Study across 8 European Countries. *Nutrients* **2020**, *12*, 1303. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
60. Szabo de Edelenyi, F.; Egnell, M.; Galan, P.; Druésne-Pecollo, N.; Hercberg, S.; Julia, C. Ability of the Nutri-Score front-of-pack nutrition label to discriminate the nutritional quality of foods in the German food market and consistency with nutritional recommendations. *Arch. Public Health* **2019**, *77*, 28. [\[CrossRef\]](#)
61. Franco-Arellano, B.; Vanderlee, L.; Ahmed, M.; Oh, A.; L'Abbé, M. Influence of front-of-pack labelling and regulated nutrition claims on consumers' perceptions of product healthfulness and purchase intentions: A randomized controlled trial. *Appetite* **2020**, *149*, 104629. [\[CrossRef\]](#)
62. Egnell, M.; Talati, Z.; Hercberg, S.; Pettigrew, S.; Julia, C. Objective Understanding of Front-of-Package Nutrition Labels: An International Comparative Experimental Study across 12 Countries. *Nutrients* **2018**, *10*, 1542. [\[CrossRef\]](#)
63. Hersey, J.C.; Wohlgenant, K.C.; Arsenault, J.E.; Kosa, K.M.; Muth, M.K. Effects of front-of-package and shelf nutrition labeling systems on consumers. *Nutr Rev.* **2013**, *71*, 1–14. [\[CrossRef\]](#)
64. Grummon, A.H.; Musicus, A.A.; Moran, A.J.; Salvia, M.G.; Rimm, E.B. Consumer Reactions to Positive and Negative Front-of-Package Food Labels. *Am. J. Prev. Med.* **2023**, *64*, 86–95. [\[CrossRef\]](#)
65. Egnell, M.; Talati, Z.; Gombaud, M.; Galan, P.; Hercberg, S.; Pettigrew, S.; Julia, C. Consumers' Responses to Front-of-Pack Nutrition Labelling: Results from a Sample from The Netherlands. *Nutrients* **2019**, *11*, 1817. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
66. Egnell, M.; Talati, Z.; Pettigrew, S.; Galan, P.; Hercberg, S.; Julia, C. Comparison of front-of-pack labels to help German consumers understand the nutritional quality of food products. *Ernähr. Umsch.* **2019**, *66*, 76–84.
67. Goiana-da-Silva, F.; Cruz-E-Silva, D.; Nobre-da-Costa, C.; Nunes, A.M.; Fialon, M.; Egnell, M.; Galan, P.; Julia, C.; Talati, Z.; Pettigrew, S.; et al. Nutri-Score: The Most Efficient Front-of-Pack Nutrition Label to Inform Portuguese Consumers on the Nutritional Quality of Foods and Help Them Identify Healthier Options in Purchasing Situations. *Nutrients* **2021**, *13*, 4335. [\[CrossRef\]](#)
68. Egnell, M.; Galan, P.; Farpour-Lambert, N.J.; Talati, Z.; Pettigrew, S.; Hercberg, S.; Julia, C. Compared to other front-of-pack nutrition labels, the Nutri-Score emerged as the most efficient to inform Swiss consumers on the nutritional quality of food products. *PLoS ONE* **2020**, *15*, e0228179. [\[CrossRef\]](#)
69. Kontopoulou, L.; Karpetas, G.; Fradelos, E.C.; Papathanasiou, I.V.; Malli, F.; Papagiannis, D.; Mantzaris, D.; Fialon, M.; Julia, C.; Gourgoulis, K.I. Online Consumer Survey Comparing Different Front-of-Pack Labels in Greece. *Nutrients* **2021**, *14*, 46. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
70. Andreeva, V.A.; Egnell, M.; Stoś, K.; Przygoda, B.; Talati, Z.; Touvier, M.; Galan, P.; Hercberg, S.; Pettigrew, S.; Julia, C. Polish Consumers' Understanding of Different Front-of-Package Food Labels: A Randomized Experiment. *Foods* **2022**, *11*, 134. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
71. Vandevijvere, S.; Vermote, M.; Egnell, M.; Galan, P.; Talati, Z.; Pettigrew, S.; Hercberg, S.; Julia, C. Consumers' food choices, understanding and perceptions in response to different front-of-pack nutrition labelling systems in Belgium: Results from an online experimental study. *Arch. Public Health* **2020**, *78*, 30. [\[CrossRef\]](#)
72. Fialon, M.; Babio, N.; Salas-Salvadó, J.; Galan, P.; Kesse-Guyot, E.; Touvier, M.; Deschasaux-Tanguy, M.; Sarda, B.; Hercberg, S.; Khoury, N.; et al. Comparative understanding and preference of Nutri-Score and NutriInform Battery in a sample of Spanish consumers. *Eur. J. Public Health* **2023**, *33*, 293–298. [\[CrossRef\]](#)
73. Ducrot, P.; Méjean, C.; Julia, C.; Kesse-Guyot, E.; Touvier, M.; Fezeu, L.K.; Hercberg, S.; Péneau, S. Objective Understanding of Front-of-Package Nutrition Labels among Nutritionally At-Risk Individuals. *Nutrients* **2015**, *7*, 7106–7125. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
74. Egnell, M.; Crosetto, P.; d'Almeida, T.; Kesse-Guyot, E.; Touvier, M.; Ruffieux, B.; Hercberg, S.; Muller, L.; Julia, C. Modelling the impact of different front-of-package nutrition labels on mortality from non-communicable chronic disease. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* **2019**, *16*, 56. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
75. Egnell, M.; Boutron, I.; Péneau, S.; Ducrot, P.; Touvier, M.; Galan, P.; Fezeu, L.; Porcher, R.; Ravaud, P.; Hercberg, S.; et al. Impact of the Nutri-Score front-of-pack nutrition label on purchasing intentions of individuals with chronic diseases: Results of a randomised trial. *BMJ Open* **2022**, *12*, e058139. [\[CrossRef\]](#)
76. Carruba, M.O.; Caretto, A.; De Lorenzo, A.; Fatati, G.; Ghiselli, A.; Lucchin, L.; Maffei, C.; Malavazos, A.; Malfi, G.; Riva, E.; et al. Front-of-pack (FOP) labelling systems to improve the quality of nutrition information to prevent obesity: NutriInform Battery vs Nutri-Score. *Eat Weight Disord.* **2022**, *27*, 1575–1584. [\[CrossRef\]](#)
77. Martini, D.; Marangoni, F.; Banterle, A.; Donini, L.M.; Riccardi, G.; Poli, A.; Pellegrini, N. Relationship between front-of-pack labeling and nutritional characteristics of food products: An attempt of an analytical approach. *Front. Nutr.* **2022**, *9*, 963592. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
78. Włodarek, D.; Dobrowolski, H. Fantastic Foods and Where to Find Them—Advantages and Disadvantages of Nutri-Score in the Search for Healthier Food. *Nutrients* **2022**, *14*, 4843. [\[CrossRef\]](#)
79. Egnell, M.; Seconda, L.; Neal, B.; Mhurchu, C.N.; Rayner, M.; Jones, A.; Touvier, M.; Kesse-Guyot, E.; Hercberg, S.; Julia, C. Prospective associations of the original Food Standards Agency nutrient profiling system and three variants with weight gain, overweight and obesity risk: Results from the French NutriNet-Santé cohort. *Br. J. Nutr.* **2021**, *125*, 902–914. [\[CrossRef\]](#)

80. Julia, C.; Ducrot, P.; Lassale, C.; Fézeu, L.; Méjean, C.; Péneau, S.; Touvier, M.; Hercberg, S.; Kesse-Guyot, E. Prospective associations between a dietary index based on the British Food Standard Agency nutrient profiling system and 13-year weight gain in the SU.VI.MAX cohort. *Prev. Med.* **2015**, *81*, 189–194. [\[CrossRef\]](#)
81. Hawley, K.L.; Roberto, C.A.; Bragg, M.A.; Liu, P.J.; Schwartz, M.B.; Brownell, K.D. The science on front-of-package food labels. *Public Health Nutr.* **2013**, *16*, 430–439. [\[CrossRef\]](#)
82. Ning, S.X.; Mainvil, L.A.; Thomson, R.K.; McLean, R.M. Dietary sodium reduction in New Zealand: Influence of the Tick label. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* **2017**, *26*, 1133–1138.
83. Young, L.; Swinburn, B. Impact of the Pick the Tick food information programme on the salt content of food in New Zealand. *Health Promot. Int.* **2002**, *17*, 13–19. [\[CrossRef\]](#)
84. Williams, P.; McMahon, A.; Boustead, R. A case study of sodium reduction in breakfast cereals and the impact of the Pick the Tick food information program in Australia. *Health Promot. Int.* **2003**, *18*, 51–56. [\[CrossRef\]](#)
85. Thomson, R.K.; McLean, R.M.; Ning, S.X.; Mainvil, L.A. Tick front-of-pack label has a positive nutritional impact on foods sold in New Zealand. *Public Health Nutr.* **2016**, *19*, 2949–2958. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
86. Dummer, J. Sodium reduction in Canadian food products with the health check program. *Can. J. Diet. Pract. Res.* **2012**, *73*, 227–232. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
87. Mhurchu, C.N.; Eyles, H.; Choi, Y.H. Effects of a Voluntary Front-of-Pack Nutrition Labelling System on Packaged Food Reformulation: The Health Star Rating System in New Zealand. *Nutrients* **2017**, *9*, 918. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
88. Hendriksen, M.A.; van Raaij, J.M.; Geleijnse, J.M.; Breda, J.; Boshuizen, H.C. Health gain by salt reduction in europe: A modelling study. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0118873. [\[CrossRef\]](#)
89. Verma, A.K.; Banerjee, R. Low-sodium meat products: Retaining salty taste for sweet health. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2012**, *52*, 72–84. [\[CrossRef\]](#)
90. Barcenilla, C.; Álvarez-Ordóñez, A.; López, M.; Alvseike, O.; Prieto, M. Microbiological Safety and Shelf-Life of Low-Salt Meat Products-A Review. *Foods* **2022**, *11*, 2331. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
91. Rust, P.; Ekmekcioglu, C. Impact of Salt Intake on the Pathogenesis and Treatment of Hypertension. *Adv. Exp. Med. Biol.* **2017**, *956*, 61–84.
92. Strazzullo, P.; D'Elia, L.; Kandala, N.B.; Cappuccio, F.P. Salt intake, stroke, and cardiovascular disease: Meta-analysis of prospective studies. *Br. Med. J.* **2009**, *339*, b4567. [\[CrossRef\]](#)
93. Poggio, R.; Gutierrez, L.; Matta, M.G.; Elorriaga, N.; Irazola, V.; Rubinstein, A. Daily sodium consumption and CVD mortality in the general population: Systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Public Health Nutr.* **2015**, *18*, 695–704. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
94. Cook, N.R.; Appel, L.J.; Whelton, P.K. Sodium Intake and All-Cause Mortality Over 20 Years in the Trials of Hypertension Prevention. *J. Am. Coll. Cardiol.* **2016**, *68*, 1609–1617. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
95. Ma, H.; Xue, Q.; Wang, X.; Li, X.; Franco, O.H.; Li, Y.; Heianza, Y.; Manson, J.E.; Qi, L. Adding salt to foods and hazard of premature mortality. *Eur. Heart J.* **2022**, *43*, 2878–2888. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
96. O'Donnell, M.; Mente, A.; Yusuf, S. Sodium intake and cardiovascular health. *Circ. Res.* **2015**, *116*, 1046–1057. [\[CrossRef\]](#)
97. Alderman, M.H.; Cohen, H.W. Dietary sodium intake and cardiovascular mortality: Controversy resolved? *Curr. Hypertens. Rep.* **2012**, *14*, 193–201. [\[CrossRef\]](#)
98. O'Donnell, M.; Mente, A.; Yusuf, S. Evidence relating sodium intake to blood pressure and CVD. *Curr. Cardiol. Rep.* **2014**, *16*, 529. [\[CrossRef\]](#)
99. Liem, D.G.; Miremadi, F.; Keast, R.S. Reducing sodium in foods: The effect on flavor. *Nutrients* **2011**, *3*, 694–711. [\[CrossRef\]](#)
100. Ruusunen, M.; Puolanne, E. Sodium in Meat Products. In Proceedings of the 50th International Congress of Meat Science and Technology, Helsinki, Finland, 8–13 August 2004.
101. Nurmilah, S.; Cahyana, Y.; Utama, G.L.; Ait-Kaddour, A. Strategies to Reduce Salt Content and Its Effect on Food Characteristics and Acceptance: A Review. *Foods* **2022**, *11*, 3120. [\[CrossRef\]](#)
102. Sleator, R.D.; Hill, C. Food reformulations for improved health: A potential risk for microbial food safety? *Med. Hypotheses* **2007**, *69*, 1323–1324. [\[CrossRef\]](#)
103. Fraqueza, M.J.; Laranjo, M.; Elias, M.; Patarata, L. Microbiological hazards associated with salt and nitrite reduction in cured meat products: Control strategies based on antimicrobial effect of natural ingredients and protective microbiota. *Curr. Opin. Food Sci.* **2021**, *38*, 32–39. [\[CrossRef\]](#)
104. Muzayyanah, M.A.U.; Triatmojo, A.; Guntoro, B. The consumer preferences for processed meat products based on choice brand priorities. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2022**, *1001*, 012024. [\[CrossRef\]](#)
105. Delgado-Pando, G.; Fischer, E.; Allen, P.; Kerry, J.P.; O'Sullivan, M.G.; Hamill, R.M. Salt content and minimum acceptable levels in whole-muscle cured meat products. *Meat Sci.* **2018**, *139*, 179–186. [\[CrossRef\]](#)
106. Vidal, V.A.S.; Lorenzo, J.M.; Muneke, P.E.S.; Pollonio, M.A.R. Challenges to reduce or replace NaCl by chloride salts in meat products made from whole pieces—A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2021**, *61*, 2194–2206. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
107. Desmond, E. Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat Sci.* **2006**, *74*, 188–196. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
108. Aliño, M.; Grau, R.; Toldrá, F.; Blesa, E.; Pagán, M.J.; Barat, J.M. Influence of sodium replacement on physicochemical properties of dry-cured loin. *Meat Sci.* **2009**, *83*, 423–430. [\[CrossRef\]](#)

109. Vidal, V.A.S.; Biachi, J.P.; Paglarini, C.S.; Pinton, M.B.; Campagnol, P.C.B.; Esmerino, E.A.; da Cruz, A.G.; Morgano, M.A.; Pollonio, M.A.R. Reducing 50% sodium chloride in healthier jerked beef: An efficient design to ensure suitable stability, technological and sensory properties. *Meat Sci.* **2019**, *152*, 49–57. [\[CrossRef\]](#)
110. Nachtigall, F.M.; Vidal, V.A.S.; Pyarasani, R.D.; Domínguez, R.; Lorenzo, J.M.; Pollonio, M.A.R.; Santos, L.S. Substitution effects of NaCl by KCl and CaCl₂ on Lipolysis of Salted Meat. *Foods* **2019**, *8*, 595. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
111. Fellendorf, S.; Kerry, J.P.; Hamill, R.M.; O'Sullivan, M.G. Impact on the physicochemical and sensory properties of salt reduced corned beef formulated with and without the use of salt replacers. *LWT* **2018**, *92*, 584–592. [\[CrossRef\]](#)
112. Domínguez, R.; Munekeata, P.E.; Cittadini, A.; Lorenzo, J.M. Effect of the partial NaCl substitution by other chloride salts on the volatile profile during the ripening of dry-cured lacón. *Grasas Aceites* **2016**, *67*, e128.
113. Devlieghere, F.; Vermeiren, L.; Bontenbal, E.; Lamers, P.P.; Debevere, J. Reducing salt intake from meat products by combined use of lactate and diacetate salts without affecting microbial stability. *Int. J. Food Sci. Technol.* **2009**, *44*, 337–341. [\[CrossRef\]](#)
114. Kim, T.K.; Yong, H.I.; Jung, S.; Kim, H.W.; Choi, Y.S. Effect of reducing sodium chloride based on the sensory properties of meat products and the improvement strategies employed: A review. *J. Anim. Sci. Technol.* **2021**, *63*, 725–739. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
115. Kloss, L.; Meyer, J.D.; Graeve, L.; Vetter, W. Sodium intake and its reduction by food reformulation in the European Union—A review. *NFS J.* **2015**, *1*, 9–19. [\[CrossRef\]](#)
116. Vidal, V.A.S.; Santana, J.B.; Paglarini, C.S.; da Silva, M.A.A.P.; Freitas, M.Q.; Esmerino, E.A.; Cruz, A.G.; Pollonio, M.A.R. Adding lysine and yeast extract improves sensory properties of low sodium salted meat. *Meat Sci.* **2020**, *159*, 107911. [\[CrossRef\]](#)
117. World Health Organization. Fat Intake. Available online: <https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/indicator/3418> (accessed on 10 March 2023).
118. Islam, M.A.; Amin, M.N.; Siddiqui, S.A.; Hossain, M.P.; Sultana, F.; Kabir, M.R. Trans fatty acids and lipid profile: A serious risk factor to cardiovascular disease, cancer and diabetes. *Diabetes Metab. Syndr.* **2019**, *13*, 1643–1647. [\[CrossRef\]](#)
119. Sneyd, M.J.; Cox, B. Do low-fat foods alter risk of colorectal cancer from processed meat? *Public Health* **2020**, *183*, 138–145. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
120. Pietrasik, Z.; Soladoye, O.P. Functionality and consumer acceptability of low-fat breakfast sausages processed with non-meat ingredients of pulse derivatives. *J. Sci. Food Agric.* **2021**, *101*, 4464–4472. [\[CrossRef\]](#)
121. Ren, Y.; Huang, L.; Zhang, Y.; Li, H.; Zhao, D.; Cao, J.; Liu, X. Application of Emulsion Gels as Fat Substitutes in Meat Products. *Foods* **2022**, *11*, 1950. [\[CrossRef\]](#)
122. Ducrot, P.; Méjean, C.; Julia, C.; Kesse-Guyot, E.; Touvier, M.; Fezeu, L.; Hercberg, S.; Péneau, S. Effectiveness of Front-Of-Pack Nutrition Labels in French Adults: Results from the NutriNet-Santé Cohort Study. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0140898. [\[CrossRef\]](#)
123. Julia, C.; Blanchet, O.; Méjean, C.; Péneau, S.; Ducrot, P.; Allès, B.; Fezeu, L.K.; Touvier, M.; Kesse-Guyot, E.; Singler, E.; et al. Impact of the front-of-pack 5-colour nutrition label (5-CNL) on the nutritional quality of purchases: An experimental study. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* **2016**, *13*, 101. [\[CrossRef\]](#)
124. Egnell, M.; Ducrot, P.; Touvier, M.; Allès, B.; Hercberg, S.; Kesse-Guyot, E.; Julia, C. Objective understanding of Nutri-Score Front-Of-Package nutrition label according to individual characteristics of subjects: Comparisons with other format labels. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0202095. [\[CrossRef\]](#)
125. Egnell, M.; Galan, P.; Fialon, M.; Touvier, M.; Péneau, S.; Kesse-Guyot, E.; Hercberg, S.; Julia, C. The impact of the Nutri-Score front-of-pack nutrition label on purchasing intentions of unprocessed and processed foods: Post-hoc analyses from three randomized controlled trials. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* **2021**, *18*, 38. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
126. Ikonen, I.; Sotgiu, F.; Aydinli, A.; Verlegh, P.W.J. Consumer effects of front-of-package nutrition labeling: An interdisciplinary meta-analysis. *J. Acad. Mark. Sci.* **2020**, *48*, 360–383. [\[CrossRef\]](#)

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.

lek. wet. Katarzyna Czech - Załubska

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Załubska, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, Anna Didkowska, Janusz Bogdan, Krzysztof Anusz

Dyes Used in Processed Meat Products in the Polish Market, and Their Possible Risks and Benefits for Consumer Health

mój wkład w jej powstanie polegał na zbieraniu materiału do badań, współudziale w opracowaniu koncepcji i planu badań, wykonaniu doświadczeń, opracowaniu i interpretacji wyników oraz przygotowaniu manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 70%.

Katarzyna Czech - Załubska

dr Daniel Klich

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Genetyki i Ochrony Zwierząt

Instytut Nauk o Zwierzętach Wydział Hodowli, Bioinżynierii i Ochrony Zwierząt

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Załubska, **Daniel Klich**, Agnieszka Jackowska-Tracz, Anna Didkowska, Janusz Bogdan, Krzysztof Anusz

Dyes Used in Processed Meat Products in the Polish Market, and Their Possible Risks and Benefits for Consumer Health

mój wkład w jej powstanie polegał na współudziale w opracowaniu planu badań i wykonywaniu doświadczeń oraz opracowaniu statystycznym wyników.

Mój wkład procentowy szacuję na 5%.



dr hab. Agnieszka Jackowska-Tracz

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Zalubska, Daniel Klich, **Agnieszka Jackowska-Tracz**, Anna Didkowska, Janusz Bogdan, Krzysztof Anusz

Dyes Used in Processed Meat Products in the Polish Market, and Their Possible Risks and Benefits for Consumer Health

mój wkład w jej powstanie polegał na nadzorowaniu prawidłowości prowadzonych badań.

Mój wkład procentowy szacuję na 5%.

dr Anna Didkowska

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Załubska, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, **Anna Didkowska**, Janusz Bogdan, Krzysztof Anusz

Dyes Used in Processed Meat Products in the Polish Market, and Their Possible Risks and Benefits for Consumer Health

mój wkład w jej powstanie polegał na nadzorowaniu prawidłowości prowadzonych badań oraz współudziale w korekcie merytorycznej manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 5%.

Anne Didkowska

dr Janusz Bogdan

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Zalubska, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, Anna Didkowska, Janusz Bogdan, Krzysztof Anusz

Dyes Used in Processed Meat Products in the Polish Market, and Their Possible Risks and Benefits for Consumer Health

mój wkład w jej powstanie polegał na nadzorowaniu prawidłowości prowadzonych badań oraz współudziale w korekcie merytorycznej manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 5%.



prof. dr hab. Krzysztof Anusz

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Załubska, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, Anna Didkowska, Janusz Bogdan, **Krzysztof Anusz**

Dyes Used in Processed Meat Products in the Polish Market, and Their Possible Risks and Benefits for Consumer Health

mój wkład w jej powstanie polegał na współudziale w powstaniu koncepcji nadzorowaniu prawidłowości prowadzonych badań oraz współudziale w korekcie merytorycznej manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 10%.

KIEROWNIK KATEDRY

/ Prof. dr hab. Krzysztof Anusz /

lek. wet. Katarzyna Czech-Zalubska

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Zalubska, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, Anna Didkowska, Joanna Zarzyńska, Krzysztof Anusz

Assessment of dietary exposure to food additives used in Polish processed meat products

mój wkład w jej powstanie polegał na zbieraniu materiału do badań, współudziale w opracowaniu koncepcji i planu badań, wykonaniu doświadczeń, opracowaniu i interpretacji wyników oraz przygotowaniu manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 65%.

Katarzyna Czech-Zalubska

dr Daniel Klich

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Genetyki i Ochrony Zwierząt

Instytut Nauk o Zwierzętach Wydział Hodowli, Bioinżynierii i Ochrony Zwierząt

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Załubska, **Daniel Klich**, Agnieszka Jackowska-Tracz, Anna Didkowska, Joanna Zarzyńska, Krzysztof Anusz

Assessment of dietary exposure to food additives used in Polish processed meat products

mój wkład w jej powstanie polegał na współudziale w opracowaniu planu badań i wykonywaniu doświadczeń oraz opracowaniu statystycznym wyników.

Mój wkład procentowy szacuję na 5%.



dr hab. Agnieszka Jackowska-Tracz

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

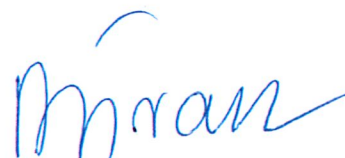
Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Zalubska, Daniel Klich, **Agnieszka Jackowska-Tracz**, Anna Didkowska, Joanna Zarzyńska, Krzysztof Anusz

Assessment of dietary exposure to food additives used in Polish processed meat products

mój wkład w jej powstanie polegał na nadzorowaniu prawidłowości prowadzonych badań oraz współudziale w korekcie merytorycznej manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 5%.



dr Anna Didkowska

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Załubska, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, **Anna Didkowska**, Joanna Zarzyńska, Krzysztof Anusz

Assessment of dietary exposure to food additives used in Polish processed meat products

mój wkład w jej powstanie polegał na nadzorowaniu prawidłowości prowadzonych badań oraz współudziale w korekcie merytorycznej manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 5%.

Anna Didkowska

dr Joanna Zarzyńska

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Załubska, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, Anna Didkowska, Joanna Zarzyńska, Krzysztof Anusz

Assessment of dietary exposure to food additives used in Polish processed meat products

mój wkład w jej powstanie polegał na nadzorowaniu prawidłowości prowadzonych badań oraz współudziale w korekcie merytorycznej manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 5%.



prof. dr hab. Krzysztof Anusz

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Załużska, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, Anna Didkowska, Joanna Zarzyńska, **Krzysztof Anusz**

Assessment of dietary exposure to food additives used in Polish processed meat products

mój wkład w jej powstanie polegał na współudziale w powstaniu koncepcji nadzorowaniu prawidłowości prowadzonych badań oraz współudziale w korekcie merytorycznej manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 15%.

KIERDWNIA KATEDRY

/ Prof. dr hab. Krzysztof Anusz /

lek. wet. Katarzyna Czech-Zalubska

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Zalubska, Anna Didkowska, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, Joanna Zarzyńska, Krzysztof Anusz

The Nutri-Score Scale—A Tool for Assessing the Nutritional Quality of Processed Meat Products Available on the Polish Market

mój wkład w jej powstanie polegał na zbieraniu materiału do badań, współudziale w opracowaniu koncepcji i planu badań, wykonaniu doświadczeń, opracowaniu i interpretacji wyników oraz przygotowaniu manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 70%.

Katarzyna Czech-Zalubska

dr Anna Didkowska

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Załubska, **Anna Didkowska**, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, Joanna Zarzyńska, Krzysztof Anusz

The Nutri-Score Scale—A Tool for Assessing the Nutritional Quality of Processed Meat Products Available on the Polish Market

mój wkład w jej powstanie polegał na nadzorowaniu prawidłowości prowadzonych badań oraz współudziale w korekcie merytorycznej manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 5%.

Anna Didkowska

dr Daniel Klich

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Genetyki i Ochrony Zwierząt

Instytut Nauk o Zwierzętach Wydział Hodowli, Bioinżynierii i Ochrony Zwierząt

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Zalubska, Anna Didkowska, **Daniel Klich**, Agnieszka Jackowska-Tracz, Joanna Zarzyńska, Krzysztof Anusz

The Nutri-Score Scale—A Tool for Assessing the Nutritional Quality of Processed Meat Products
Available on the Polish Market

mój wkład w jej powstanie polegał na współudziale w opracowaniu planu badań i wykonywaniu doświadczeń oraz opracowaniu statystycznym wyników.

Mój wkład procentowy szacuję na 5%.



dr hab. Agnieszka Jackowska-Tracz

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

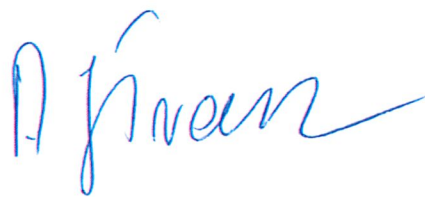
Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Zalubska, Anna Didkowska, Daniel Klich, **Agnieszka Jackowska-Tracz**, Joanna Zarzyńska, Krzysztof Anusz

The Nutri-Score Scale—A Tool for Assessing the Nutritional Quality of Processed Meat Products Available on the Polish Market

mój wkład w jej powstanie polegał na nadzorowaniu prawidłowości prowadzonych badań oraz współudziale w korekcie merytorycznej manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 5%.



dr Joanna Zarzyńska

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Zalubska, Anna Didkowska, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, Joanna Zarzyńska, Krzysztof Anusz

The Nutri-Score Scale—A Tool for Assessing the Nutritional Quality of Processed Meat Products Available on the Polish Market

mój wkład w jej powstanie polegał na nadzorowaniu prawidłowości prowadzonych badań oraz współudziale w korekcie merytorycznej manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 5%.

Joanna Zarzyńska

prof. dr hab. Krzysztof Anusz

Warszawa, 6 czerwca 2024 r.

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego

Instytut Medycyny Weterynaryjnej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ul. Nowoursynowska 159

02-776 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy

Katarzyna Czech-Załubska, Anna Didkowska, Daniel Klich, Agnieszka Jackowska-Tracz, Joanna Zarzyńska, **Krzysztof Anusz**

The Nutri-Score Scale—A Tool for Assessing the Nutritional Quality of Processed Meat Products Available on the Polish Market

mój wkład w jej powstanie polegał na współudziale w powstaniu koncepcji nadzorowaniu prawidłowości prowadzonych badań oraz współudziale w korekcie merytorycznej manuskryptu.

Mój wkład procentowy szacuję na 10%.

KIEROWNIK KATEDRY

/ Prof. dr hab. Krzysztof Anusz /

