

Polskie Towarzystwo Nauk Żywnościowych



XXVIII KONFERENCJA DYSKUSYJNA

**FAKTY I FIKCJE
W ŻYWIENIU CZŁOWIEKA**

**„Wzbogacanie żywności - potrzeba
czy konieczność?”**

Materiały konferencyjne

Warszawa, 23 października 2020

XXVIII KONFERENCJA DYSKUSYJNA
FAKTY I FIKCJE W ŻYWIENIU CZŁOWIEKA

Wzbogacanie żywności – potrzeba
czy konieczność?

**Konferencja zorganizowana przez
Polskie Towarzystwo Nauk Żywnościowych,
Zarząd Główny oraz
Wydział Żywienia Człowieka SGGW**

23 października 2020, godz. 11⁰⁰

Konferencja zorganizowana w trybie zdalnym
na platformie MS Teams

Recenzent – dr hab. Iwona Traczyk
Redakcja naukowa – prof. dr hab. Jadwiga Hamułka
Redakcja techniczna – mgr inż. Mariola Araucz

Polskie Towarzystwo Nauk Żywnościowych – Zarząd Główny
02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159c, tel. 22 59 37 112, 22 59 37 113

ISBN 978-83-949238-4-6

Program konferencji:

- **Otwarcie Konferencji**

Przewodnicząca Towarzystwa:

Prof. dr hab. Jadwiga Hamułka

- **Referaty**

Dr inż. Elżbieta Wierzbicka

Żywność wzbogacona w diecie współczesnego konsumenta –
aspekty żywieniowe i zdrowotne

Dr hab. Joanna Kobus-Cisowska, prof. UPP

Żywność wzbogacona w diecie współczesnego konsumenta –
technologia wytwarzania

- **Dyskusja i podsumowanie**

Szanowni Państwo,

Wzbogacanie żywności, nazywane również fortyfikacją, jest jedną ze strategii optymalizacji sposobu żywienia poprzez uzupełnianie diety w deficytowe składniki odżywcze/pokarmowe w celu poprawy stanu odżywienia oraz zdrowia różnych grup populacyjnych.

W ostatnich latach nastąpił dynamiczny rozwój rynku żywności wzbogaconej, co z jednej strony jest efektem odpowiedzi producentów na zwiększające się zainteresowanie konsumentów nowymi, innowacyjnymi produktami o działaniu prozdrowotnym, z drugiej zaś poprawą konkurencyjności produktów i uatrakcyjnieniem asortymentu. Mając powyższe na uwadze istnieje konieczność zoptymalizowania działań w tym zakresie. Producenci żywności, konkurując na rynku żywności i dążąc do wzrostu pozycji swoich produktów, wprowadzają coraz więcej nowej żywności przeznaczonej do ogólnego spożycia, zawierającej dodatek witamin, składników mineralnych oraz innych związków o działaniu prozdrowotnym, takich jak: niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe, błonnik pokarmowy, bakterie fermentacji mlekowej, w tym szczepy probiotyczne, karotenoidy, polifenole, a także składniki roślinne, które mogą być atrakcyjne dla konsumentów ze względu na fakt podwyższania ich wartości odżywczej (prozdrowotnej).

Stąd też, aby przybliżyć szerszemu odbiorcy problematykę dotyczącą wzbogacania żywności, zarówno w aspekcie żywieniowym, zdrowotnym, jak i technologicznym, Polskie Towarzystwo Nauk Żywnościowych zorganizowało kolejną – XXVIII konferencję z cyklu „Fakty i fikcje w żywieniu człowieka” pod hasłem „Wzbogacanie żywności – potrzeba czy konieczność?”.

W trakcie konferencji poruszone zostaną najbardziej aktualne zagadnienia związane ze wzbogacaniem żywności i rolą tej żywności w profilaktyce żywieniowej, jak również dotyczące sposobów jej wytwarzania. Nasi eksperci postarają się odpowiedzieć m. in. na następujące pytania: Czy nasza żywność wymaga wzbogacania? Jakie są najnowsze trendy w technologiach/sposobach wytwarzania żywności wzbogaconej i jak to może wpływać na produkt końcowy? Czy są w tym

zakresie uregulowania prawne? Jakie mogą być konsekwencje spożywania żywności wzbogacanej?

Aby wzbogacanie żywności przyniosło pozytywny efekt profilaktyczny zmierzający do poprawy zdrowia populacji, należy pamiętać, iż poza współpracą środowisk naukowych z producentami i przemysłem spożywczym w zakresie reformulacji produktów, bardzo ważnym aspektem są działania edukacyjne. Ich celem powinno być przekazywanie konsumentom, w sposób rzetelny i merytoryczny, informacji o żywności wzbogacanej, które ułatwią dokonywanie właściwych wyborów, a tym samym poprawę sposobu żywienia i stanu zdrowia.

Mam nadzieję, że nasza Konferencja spełni swoją rolę, a zaprezentowane referaty spotkają się z szerokim odbiorem, oraz że będzie to miejsce i czas na wymianę myśli, poglądów oraz najnowszej wiedzy w tym zakresie. Mam też nadzieję, że osoby zainteresowane tą problematyką znajdą odpowiedzi na wiele nurtujących ich pytań i wątpliwości.

Serdecznie zapraszam do wzięcia udziału w konferencji, tym razem w formie on-line i życzę dobrych wrażeń i merytorycznej dyskusji.



Przewodnicząca Towarzystwa
Prof. dr hab. Jadwiga Hamulka

Dr inż. Elżbieta Wierzbicka

Katedra Żywienia Człowieka

Instytut Nauk o Żywieniu Człowieka

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Żywność wzbogacona w diecie współczesnego konsumenta – aspekty żywieniowe i zdrowotne

Wprowadzenie

Rynek żywności wzbogaconej charakteryzuje się dynamicznym rozwojem. Producenci żywności starając się zwiększyć swoją konkurencyjność na rynku wprowadzają coraz więcej produktów z dodatkiem witamin i składników mineralnych, które mogą być atrakcyjne dla konsumentów ze względu na fakt podwyższania ich wartości odżywczej w procesie produkcyjnym [Report FFM, 2020]. Pełnowartościowa i zróżnicowana dieta powinna w normalnych warunkach dostarczać wszystkich składników odżywczych, niezbędnych do prawidłowego rozwoju i zachowania zdrowia, w ilościach pokrywających dzienne zapotrzebowanie człowieka. Jednakże z prowadzonych badań obserwacyjnych wynika, że skład racji pokarmowej u dużego odsetka osób nie jest prawidłowo zbilansowany pod względem wartości energetycznej oraz zawartości składników odżywczych, spożycie niektórych składników znacznie przekracza normę, a jednocześnie diety niektórych grup populacyjnych charakteryzują się niedoborami innych składników, np. witamin: B₁, B₂, B₆, B₁₂, D i kwasu foliowego, a także składników mineralnych, tj. żelaza, jodu, wapnia, magnezu i cynku [Gronowska-Senger, 2007; Flynn i wsp., 2009, Hennessy i wsp., 2013; Mensink i wsp., 2013; Wądołowska, 2017]. Z tego punktu widzenia, jedną ze strategii optymalizacji sposobu żywienia różnych grup populacyjnych i uzupełnienia diety w deficytowe składniki odżywcze jest uwzględnienie w niej produktów wzbogaconych w witaminy i składniki mineralne [Brzozowska, 2001; Cider 2011; Dwyer i wsp., 2015; Gawęcki, 2017; Gera, 2012; Hayes i Cashman, 2017; Kiely i Cashman, 2018; Keats i wsp., 2019; Kunachowicz i Ratkovska, 2017; Pilz i wsp., 2018, Szybiński, 2008; WHO/FAO, 2006].

Wzbogacanie żywności jest bardzo aktualnym zagadnieniem, stanowi ważną i efektywną strategię poprawy stanu odżywienia ludności, ale należy pamiętać, iż oprócz korzyści wynikających z uzupełnienia niedoborów żywieniowych może nieść również zagrożenie związane z pobieraniem nadmiernych ilości składników odżywczych w wyniku wzbogacania produktów spożywczych i suplementacji diety [Brzozowska, 2011; Baye, 2019; Bruins i wsp., 2015; Dufour i wsp., 2010; Flynn i wsp., 2017; Verkaik-Kloosterman i wsp., 2012].

Cele i rodzaje wzbogacania żywności jako element polityki żywieniowej

Wzbogacenie żywności zgodnie z definicją WHO/FAO [2006] jest to dodawanie jednego lub kilku, niezbędnych dla organizmu człowieka, składników odżywczych do środków spożywczych niezależnie od tego czy występują w nim naturalnie czy też nie. Głównym celem jest przede wszystkim **zapobieganie lub korygowanie udowodnionych niedoborów** jednego lub więcej składników odżywczych oraz związanej z tym poprawy stanu odżywienia w całych populacjach, lub określonych grupach ludności. W szerszym ujęciu definiowania obejmuje ona również działania, których celem jest **przywrócenie ilości naturalnie występujących** w produkcie składników odżywczych i **wyrównanie strat składników odżywczych** spowodowanych przetwarzaniem, co wiąże się z polepszeniem ich jakości i korzyścią dla zdrowia [Gawęcki, 2017; Kunachowicz i Ratkowska, 2017]. Wzbogacanie żywności ma tę przewagę nad innymi strategiami w zakresie profilaktyki zdrowotnej zmierzającymi do poprawy żywienia, że działania podejmowane w tym zakresie są stosunkowo tanie i mogą być ukierunkowane na całe populacje lub określone grupy osób [Brzozowska, 2001; WHO/FAO, 2006; Szybiński, 2008; Cider 2011; Gera, 2012; Dwyer i wsp., 2015; Gawęcki, 2017; Hayes i Cashman, 2017; Kunachowicz i Ratkowska, 2017; Kiely i Cashman, 2018; Pilz i wsp., 2018; Keats i wsp., 2019; Waller i wsp., 2020].

Wzbogacanie żywności można podzielić na kilka różnych sposobów, w zależności od przyjętych kryteriów. Ze względu na zasięg może mieć charakter obligatoryjny lub dobrowolny [WHO/FAO, 2006; Gawęcki, 2017; Kunachowicz i Ratkowska, 2017]:

- **Wzbogacanie obligatoryjne:** obowiązkowe dodawanie witamin lub składników mineralnych do określonych produktów spożywczych w ilościach ściśle regulowanych przepisami (Rozporządzenie (WE) nr 1925/2006), celem którego jest zwalczanie masowych niedoborów stwierdzanych w badaniach epidemiologicznych i objawiających się symptomami klinicznymi i subklinicznymi, a także zapobieganie takim niedoborom. Ze względu na realizację określonej polityki zdrowia publicznego ten rodzaj wzbogacania regulują przepisy krajowe. Wszyscy producenci działający w obrębie jego terytorium są zobligowani do tego, aby dodawać do swojego produktu wyznaczone składniki odżywcze w ściśle określonych ilościach. W **Polsce** dotyczy to dwóch produktów: jodowania soli kuchennej oraz wzbogacenia witaminą A i D margaryn o normalnej i obniżonej zawartości tłuszczu oraz mixów tłuszczowych (z wyjątkiem masła i określonych produktów pochodnych).
- **Wzbogacanie dobrowolne:** dodawanie do żywności składników odżywczych w formie i ilościach zgodnych z obowiązującymi przepisami, na podstawie samodzielnej decyzji producenta. Jest praktyką często stosowaną przez producentów i podyktowaną względami marketingowymi, mającą na celu wyróżnienie konkretnego produktu spośród innych należących do danej grupy asortymentowej, a także zwiększenie zawartości składników odżywczych w produktach, które zawierają znikome ich ilości lub nie zawierają ich wcale, lub tracą składniki w czasie przechowywania. Jest to również sposób na nadanie żywności cech pożądanych, będących w dużym zainteresowaniu konsumenta - tzw. wzbogacanie **polepszające**, np. zwiększenie atrakcyjności produktu, zwłaszcza pod względem właściwości prozdrowotnych (np. dodatek błonnika i antyoksydantów - profilaktyka chorób układu krążenia i niektórych nowotworów), wapnia i witaminy D (zwiększanie biodostępności i zapobieganie chorobom układu kostnego); uzyskanie zbliżonej wartości odżywczej do produktów będących ich zamiennikami (substytutami) i upodobnienie ich do naturalnych odpowiedników (np. preparatów mlekozastępczych do pokarmu matki; margaryn do masła) oraz **wyrównawcze**, gdy celem jest wyrównanie strat spowodowanych procesem przetwórczym do

poziomu nieprzekraczającego maksymalnej zawartości w surowcu (np. dodatek witaminy C do soków owocowych; dodatek tiaminy i żelaza do mąki pszennej).

Inną klasyfikację celów, zgodnie z którymi składniki odżywcze są dodawane do produktów spożywczych zaproponowali Eksperci WHO/FAO [2006], wyróżnia się wówczas następujące rodzaje wzbogacania: tj.:

- **Masowe:** dodawanie składników odżywczych do produktów powszechnie spożywanych przez ogół populacji oraz łatwo dostępnych i tanich, np. mąka, mleko, sól; proces zwykle jest obowiązkowy i podlega regulacji prawnej instytucji rządowych;
- **Celowane:** dodawanie określonych składników odżywczych do grupy produktów przeznaczonej dla ściśle określonej grupy ludności, np. preparaty do żywienia niemowląt; produkty sojowe dla wegetarian;
- **Marketingowe:** dodawanie składników dobrowolne, podejmowane z inicjatywy producenta, zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawnymi, celem uzyskania wyższej atrakcyjności wyrobów oraz związanych z tym korzyści (sprzedaż i zysk).

Ogólne zasady wzbogacania żywności

Celowość wzbogacenia produktu w określony składnik odżywczy powinna opierać się na **ocenie sytuacji żywieniowej i zdrowotnej** różnych grup populacyjnych, m. in. na reprezentatywnych wynikach badań oceny sposobu żywienia i stanu odżywienia, a także na analizie danych epidemiologicznych. Pozwoli to uzyskać informacje o aktualnym lub przeszłym sposobie żywienia, w tym o spożyciu poszczególnych składników odżywczych, a następnie **zidentyfikować problem** do rozwiązania oraz **wskazać grupy ryzyka**. W zależności od ustalonego celu żywieniowego, powinno rozpatrywać się różne możliwości i zasięg poprzez obligatoryjne lub dobrowolne wzbogacanie. Przesłanką do podjęcia takiej decyzji jest występowanie klinicznych lub subklinicznych objawów niedoboru w określonych populacjach lub grupach ludności, jak również niewystarczające w stosunku do zapotrzebowanie organizmu spożycie ważnych dla zdrowia składników odżywczych lub duże prawdopodobieństwo wystąpienia niedoboru składników odżywczych

w grupach ryzyka (małe dzieci, kobiety w ciąży i karmiące, osoby starsze, osoby o niskim statusie społeczno-ekonomicznym, itd.) [Brzozowska, 2001; Cider 2011; Dwyer i wsp., 2015; Gawęcki, 2017; Gera, 2012; Hayes i Cashman, 2017; Kiely i Cashman, 2018; Keats i wsp., 2019; Kunachowicz i Ratkowska, 2017; Pilz i wsp., 2018, Szybiński, 2008; Waller i wsp., 2020; WHO/FAO, 2006].

Z punktu widzenia **zdrowia konsumenta** wzbogacanie żywności wymaga nie tylko określenia żywieniowych potrzeb do wprowadzenia dodatku składników odżywczych, ale również szeregu ustaleń, zarówno w zakresie doboru nośnika, rodzaju, form chemicznych, jak i ilości substancji wzbogacającej, znakowania takiej żywności, a także warunków jej kontroli. W całym procesie projektowania i planowania należy brać pod uwagę następujące elementy [Gawęcki, 2017; Kunachowicz i Ratkowska, 2017; WHO/FAO, 2006].

- **Dobór produktu spożywczego**, jako **nośnika** składników wzbogacających. Powinien nim być produkt ogólnodostępny oraz powszechnie spożywany przez populację, do której wzbogacanie jest kierowane, przy czym spożycie takiego produktu, powinno być wyrównane i względnie stałe ilościowo. Najczęściej stosowanymi nośnikami w strategiach fortyfikacji obowiązkowej są: mąka kukurydziana, olej, ryż i sól oraz mąka pszenna. Mając na uwadze wzbogacanie dobrowolne, pożądane jest aby był to produkt zalecany z punktu widzenia racjonalnego żywienia, np. mleko, mleczne napoje fermentowane, pieczywo, makarony, śniadaniowe produkty zbożowe. Nie jest wskazane używanie jako nośnika cukru i wyrobów cukierniczych, napojów gazowanych lub innych produktów, których spożycie w większych ilościach byłoby niepożądane.
- **Dobór odpowiedniej formy i dawki** substancji wzbogacającej, który jest podyktowany przede wszystkim względami bezpieczeństwa. Do produkcji żywności wzbogaconej najczęściej stosuje się syntetyczne związki chemiczne. Powszechne jest również dodawanie tzw. premiksów, czyli mieszanin środków wzbogacających o ustalonym składzie. Dodawana substancja powinna być stabilna i dobrze przyswajalna przez organizm człowieka. Nie może powodować niekorzystnych zmian

organoleptycznych w produkcie (barwy, smaku czy zapachu) oraz skracać okresu przydatności do spożycia. Dawki składników wzbogacających należy tak dobrać, aby wystarczyły do uzyskania zamierzonego efektu, uwzględniając poziom spożycia wzbogacanego produktu i jego naturalną zawartość oraz spożycie tego składnika z innych produktów oraz aby miały istotne znaczenie w uzyskaniu większego spożycia określonych składników odżywczych i nie stanowiły zagrożenia dla zdrowia konsumenta, mając na uwadze spożycie tego składnika z innymi produktami.

- **Dobór procesu technologicznego**, który powinien zapewnić wprowadzenie planowanej ilości substancji dodawanej oraz jej równomierne rozłożenie w poszczególnych partiach wzbogaconego produktu, natomiast straty na etapie produkcji i dystrybucji powinny być do minimum ograniczone. W zależności od rodzaju produktu, którego dotyczy proces, wykorzystuje się m. in. technologie: rozpuszczania w wodzie (soki i napoje) lub oleju (margaryny), mieszania na sucho (mleko w proszku, mąka), ekstruzji (śniadaniowe przetwory zbożowe), rozpylania (sól), adhezji (cukier), czy mikro-kapsułkowania (ryż).
- **Działania legislacyjne i kontrolne**, które jako administracyjny sposób egzekwowania całego procesu będą w stanie zapewnić, że wzbogacone produkty faktycznie zawierają określony dodatek w ilości nie stanowiącej ryzyka dla zdrowia. Kluczowe znaczenie przy produkcji żywności wzbogacanej ma również **prawidłowe znakowanie** oraz rzetelna promocja tego rodzaju środków. Powyższy element odgrywa istotną rolę edukacyjną, jak również ułatwia odróżnienie artykułów spożywczych o podwyższonej zawartości witamin i składników mineralnych spośród innych, z tej samej grupy asortymentowej.

Warunki wzbogacania żywności w świetle regulacji prawnych

Wzbogacanie żywności w naszym kraju jest regulowane na dwóch poziomach - krajowym i europejskim. Przepisy UE ustanawiają wykaz związków i form chemicznych, które mogą być dodawane do żywności w ramach wzbogacania, z kolei to przepisy krajowe określają ilość tych składników oraz dotyczą wzbogacania obowiązkowego. Prawo unijne

reguluje kwestię wzbogacania dobrowolnego, a także harmonizuje przepisy państw członkowskich w tym zakresie, dzięki czemu we wszystkich krajach UE obowiązują jednolite przepisy.

Według obowiązujących przepisów prawnych do środków spożywczych mogą być dodawane witaminy, składniki mineralne lub inne substancje wykazujące efekt odżywczy lub inny fizjologiczny (Ustawa o bezpieczeństwie żywności i żywienia z dn. 25 sierpnia 2006, z późn. zm.), z uwzględnieniem wymagań w sprawie dodawania do żywności witamin i składników mineralnych oraz niektórych innych substancji (określonych w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady UE nr 1925/2006), oraz wymagań w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat żywności (określonych w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady UE nr 1169/2011). Omówione wymagania obejmują następujące zagadnienia:

- **witaminy i składniki mineralne – skład jakościowy:** Do żywności można dodawać tylko witaminy lub składniki mineralne określone w podanym wykazie oraz w ściśle określonych formach chemicznych [Rozporządzenie nr 1925/2006, z późn.zm.]. Witamin i składników mineralnych nie można dodawać do nieprzetworzonej żywności (obejmującej w szczególności owoce, warzywa, mięso, drób i ryby) oraz napojów zawierających ponad 1,2% objętości alkoholu. Do produkcji żywności wzbogaconej można obecnie stosować następujące witaminy (A, D, E, K, C, B₆, B₁₂, tiamina, ryboflawina, niacyna, kwas pantotenowy, kwas foliowy, biotyna) i składniki mineralne (wapń, magnez, żelazo, miedź, jod, cynk, mangan, sód, potas, selen, chrom, molibden, fluorki, chlorki, fosfor, bor, krzem).
- **witaminy i składniki mineralne – wartości minimalne i maksymalne:** Do żywności konieczne jest dodanie takiej ilości składnika odżywczego, która pozwala na uzyskanie zawartości w produkcie finalnym, przynajmniej w ilości znaczącej [Rozporządzenie nr 1925/2006, z późn.zm.]. Minimalna ilość witamin i składników mineralnych jaką można dodać do żywności wzbogaconej, zależy do rodzaju produktu i są to następujące wartości: 7,5% referencyjnej wartości spożycia (RWS) dla witamin, czy składników mineralnych w przeliczeniu na 100 ml napoju;

15% RWS w przeliczeniu na 100 g, 100 ml w przypadku innych produktów niż napoje; lub 15% RWS w przeliczeniu na porcję produktu, jeżeli opakowanie produktu zawiera wyłącznie jedną porcję. Maksymalne ilości witamin i składników mineralnych, jakie mogą być obecne w produkcie finalnym ustala się biorąc pod uwagę górny tolerowany poziom spożycia, spożycie witamin i składników mineralnych dostarczanych do organizmu z różnych źródeł oraz zalecane spożycie tych składników dla danej populacji [Rozporządzenie nr 1169/2011, z późn. zm.]. W zakresie znakowania tych produktów zastosowanie mająienne referencyjne wartości spożycia witamin i składników mineralnych (RWS) dla osób dorosłych, które należy przyjmować jako wartości odniesienia [Rozporządzenie nr 1169/2011, z późn. zm.].

- Należy zaznaczyć, że w **Polsce** obowiązują również przepisy krajowe określone w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 16 września 2010 roku w sprawie substancji wzbogacających dodawanych do żywności [Rozporządzenie Dz.U. z 2010 r. poz. 1184] w odniesieniu do środków wzbogaconych będących w obrocie krajowym, a które nie są obecne na rynku innych państw członkowskich UE. Rozporządzenie to określa środki spożywcze, do których **obligatoryjnie** dodawane są witaminy lub składniki mineralne oraz określa **minimalne i maksymalne poziomy witamin i składników mineralnych**. Według przepisu krajowego minimalna ich ilość wynosi 15% zalecanego dziennego spożycia w 100 g lub 100 ml albo w jednej porcji produktu (jeśli jest mniejsza niż 100 g lub 100 ml). Z kolei maksymalna ich ilość nie powinna stanowić więcej niż 50% zalecanego dziennego spożycia (w 100 g lub 100 ml albo w jednej porcji, jeśli jest ona mniejsza niż 100 g lub 100 ml). Wyjątek stanowią witamina C i foliany, dla których maksymalna wartość stanowi 100% zalecanego dziennego spożycia (ze względu na straty technologiczne).
- **Inne substancje niż witaminy i składniki mineralne:** Produkty spożywcze można wzbogacać również innymi substancjami wykazującymi efekt odżywczy lub inny fizjologiczny. Do substancji tych zalicza się m. in., aminokwasy, niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe, błonnik pokarmowy, bakterie fermentacji mlekowej,

w tym szczepy probiotyczne, a także składniki roślinne. Stosowanie substancji z tej kategorii reguluje Rozporządzenie WE nr 1925/2006.

Ustalanie bezpiecznych poziomów witamin i składników mineralnych

We wzbogaconym produkcie finalnym, wielkość dodatku substancji wzbogacającej powinna być tak dobrana, aby wystarczyła do uzyskania zamierzonego efektu i była **bezpieczna dla konsumenta**, pod względem pobrania tego składnika ze wszystkich możliwych źródeł. Ponieważ niektóre składniki odżywcze mogą mieć przy nadmiernym spożyciu działanie szkodliwe, nie można pominąć kwestii bezpieczeństwa, mając również na uwadze możliwy wzrost i duże spożycie wzbogaconego produktu, a także potencjalne ich pobranie z suplementów diety [Brzozowska, 2001; Baye, 2019; Verkaik-Kloosterman i wsp., 2012].

Przy ustalaniu bezpiecznych maksymalnych ilości dawek witamin i składników mineralnych w produkcie wzbogaconym należy wziąć pod uwagę [Flynn i wsp., 2017; Bruins i wsp., 2015; Dufour i wsp., 2010]:

- **górne tolerowane poziomy spożycia** (*Tolerable Upper Intake Level, UL*), ustalane na podstawie oceny ryzyka w oparciu o dane naukowe, których to ilości nie można przekroczyć aby nie stwarzać ryzyka wystąpienia niekorzystnego wpływu na organizm człowieka,
- spożycie składników odżywczych dostarczane z innych źródeł, w tym z suplementami diety, oraz z wodą pitną;
- zalecane spożycie składników odżywczych dla określonej grupy populacyjnej.

Eksperti WHO/FAO (2006) wskazują na konieczność **ustalenia dawek minimalnych i maksymalnych**, stąd też zaproponowano trzy rodzaje dawek:

- wykonalny poziom fortyfikacji (*FFL – Feasible fortification level*) – zawartość dodatku, który zapewni odpowiednie spożycie składnika odżywczego w populacji zagrożonej niedoborem, bez ryzyka nadmiernego pobrania, uwzględniająca ograniczenia finansowe i technologiczne,
- minimalny poziom fortyfikacji (*MFL – Minimum fortification level*) – zawartość dodatku zbliżona lub niższa od FFL, obliczona jako

różnica wartości FFL i współczynnika zmienności (trzykrotności odchylenia standardowego),

- maksymalny dopuszczalny poziom fortyfikacji (*MTL – Maximum tolerable level*) – największa zawartość dodatku równa lub mniejsza niż poziom bezpieczny wynikający z różnicy między dawką UL a 95-percentylem wartości spożycia danego składnika ze zwyczajowej diety. Punktem odniesienia są górne tolerowane poziomy spożycia (UL), których to ilości nie można przekroczyć.

Mając na uwadze **bezpieczeństwo konsumenta** opracowywane są różne modele oceny ryzyka, gdzie wspomniany wcześniej poziom UL oraz dane z krajowych badań żywieniowych (w tym 95-percentyl spożycia), stosowany jest do oszacowania bezpiecznych maksymalnych poziomów (*SML – Safe maximum level*) dla witamin i składników mineralnych w żywności wzbogaconej [Flynn i wsp., 2017; Bruins i wsp., 2015; Dufour i wsp., 2010]. W badaniach Flynn i wsp. [2017] stwierdzono, że istnieje odwrotna zależność między SML składnika odżywczego, a spożyciem z innych źródeł żywieniowych, tj. SML w suplementach zmniejsza się wraz ze wzrostem spożycia składnika odżywczego z innych źródeł żywności (w tym żywności wzbogaconej). Oszacowane tą metodą poziomy SML wyrażone na 100 kcal żywności wzbogaconej było niższe u dzieci niż u dorosłych w przypadku witamin B₆ i D, wyższe w przypadku witaminy E, z niewielką różnicą w przypadku innych składników odżywczych [Flynn i wsp., 2017]. Ponadto podczas ustalania MSL dla żywności i suplementów należy wziąć pod uwagę zmienność międzyosobniczą spożycia wzbogaconej żywności [Dufour i wsp., 2010]. W badaniach Bruins i wsp., [2015], zwrócono uwagę, że w przypadku niektórych składników, tj. witamina A i cynk istnieje bardzo wąski margines pomiędzy normą EAR a poziomem UL. Zwiększenie spożycia poprzez fortyfikację stanowić może problem. Nieprzekroczenie UL zapewnia bezpieczeństwo, ale część populacji docelowej może pozostać z niepokrytymi potrzebami żywieniowymi, jak również może wystąpić sytuacja odwrotna [Bruins i wsp., 2015].

Żywność wzbogacona w witaminy i składniki mineralne w profilaktyce i zwalczaniu niedoborów - korzyści i zagrożenia

W pierwszej połowie XX wieku w wielu krajach na świecie prowadzone były różne programy wzbogacania żywności w celu wyeliminowania chorób związanych z głębokim deficytem składników odżywczych objawiających się charakterystycznymi symptomami klinicznymi takimi jak: zmierzchowa ślepotą i kseroftalmia, wole i wrodzony zespół niedoboru jodu, pelagra, krzywica [Global Fortification Data Exchange, 2020]. Dla przetwórstwa spożywczego w wielu krajach było to impulsem do wzbogacania podstawowych produktów spożywczych, w tym mąki zbożowej (pszennej, ryżowej i kukurydzianej), soli, oleju, a także produktów przeznaczonych dla niemowląt i małych dzieci. W zależności od przyjętej strategii w danym kraju, uzależnionej od odmiennych zwyczajów żywieniowych, dostępności surowców i zróżnicowania geograficznego, bardzo często były to produkty wzbogacane obligatoryjnie [WHO/FAO 2006; Mkambula i wsp., 2020].

Aktualna literatura dostarcza wielu dowodów potwierdzających korzystny wpływ wprowadzanych światowych programów w celu uzupełnienia niedoborów żywieniowych i poprawy stanu odżywienia dla witaminy A, żelaza, jodu i kwasu foliowego. Niedawny przegląd systematyczny i metaanaliza programów wzbogacania żywności stosowanych w krajach rozwijających się potwierdziły efektywne uzupełnianie głębokich niedoborów składników odżywczych w całej populacji, w tym: 34% redukcję niedokrwistości (RR: 0,66; 95% CI: 0,59, 0,74), 74% zmniejszanie prawdopodobieństwa wystąpienia wola (OR: 0,26; 95% CI: 0,16; 0,43) oraz 41% zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia wad cewy nerwowej (OR: 0,59; 95% CI: 0,49; 0,70) [Kreatsi wsp., 2019]. Jednak niedobory tych składników odżywczych nadal występują, szczególnie w krajach o niskim dochodzie. W celu poprawy tej sytuacji potrzebne jest tworzenie nowych programów, tam gdzie jest to uzasadnione oraz wdrażanie innowacyjnych rozwiązań aby zwiększyć zasięg ich działania [Dwyer i wsp., 2015; Mkambula i wsp., 2020; Ramírez-Luzuriaga i wsp., 2018; Waller i wsp., 2020].

Witamina A

Witamina A jest dodawana do cukru głównie w krajach Ameryki Łacińskiej oraz do oleju w krajach Afryki i Azji, chociaż niektóre kraje wzbogacają zarówno cukier, jak i olej witaminą A. Programy wzbogacania olejów na dużą skalę są obecnie wdrażane w 50 krajach, z których ponad połowa jest obowiązkowa. Program wzbogacania cukru praktycznie wyeliminował niedobór tej witaminy w Gwatemali, a duże zmniejszenie jej niedoboru odnotowano również w Hondurasie i Salwadorze, gdzie fortyfikację połączono z suplementacją. Podobne podejście również przyniosło efekty korzystne w Zambii. Ponieważ biedniejsze grupy ludności w Afryce i Azji nie spożywają tyle cukru (np. Nigeria, Kamerun, Jemen, Bangladesz, Pakistan), krajowe programy obejmują wzbogacanie oleju w witaminę A [Global Fortification Data Exchange, 2020; Kreats i wsp., 2019].

Jednakże w przypadku witaminy A i fortyfikacji cukru, badania z różnych krajów (Gwatemala, Zambia, Kamerun) wykazały, że programy fortyfikacji rozpoczynające się w latach 60-tych, kiedy niedobory tej witaminy były duże, mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia przy zmieniających się obecnie wzorach żywienia [Baye, 2019; Bielderman i wsp., 2016]. W przypadku niektórych osób taka sytuacja prowadzi do zbyt dużego spożycia witaminy A i wzrostu stężenia retinolu w surowicy krwi, który jest toksyczny dla organizmu [Tanumihardjo i wsp., 2016; Verkaik-Kloosterman, 2012].

Jod

Najbardziej znanym przykładem wzbogacania żywności na świecie jest jodowanie soli. Jest preferowaną strategią zapobiegania zaburzeniom z niedoboru jodu, jako najbardziej ekonomicznie opłacalna i skuteczna metoda [Szybiński i wsp., 2008; WHO/FAO 2006]. Przeważająca część ludności ma dostęp do soli jodowanej. Pozwala to zmniejszyć ryzyko występowania wola i wrodzonego zespołu niedoboru jodu oraz zapobiegać subklinicznym zaburzeniom związanym z niedoborem tego pierwiastka w organizmie (wg. Iodine Global Network). Pomimo względnego sukcesu jodowania soli, w wielu krajach o niskim dochodzie nadal istnieją grupy ludności bez dostępu do soli jodowanej. Aby rozwiązać ten problem podejmowane są próby podwójnego wzbogacania soli, tj. jodem

i żelazem (np. w Indiach), aby jednocześnie zwiększać podaż innego deficytowego pierwiastka [Ramírez-Luzuriaga i wsp., 2018].

Jodowanie soli jest obowiązkowe tylko w niektórych krajach, chociaż istnieją mocne dowody naukowe potwierdzające korzystny wpływ na stan odżywienia jodem na poziomie populacyjnym [Szybiński i wsp., 2008]. Podczas gdy w 1993 r. było 110 krajów, w których niedobór jodu został potwierdzony, to w 2017 roku liczba ta obniżyła się do 19 (wg. Iodine Global Network).

Polska należy do nielicznych krajów Europy, które wprowadziły obligatoryjny model jodowania soli kuchennej. W polskim modelu profilaktyki jodowana jest sól, która jest wykorzystywana w gospodarstwach domowych. Program ten wprowadzony został w 1997 roku w ramach Narodowego Programu Eliminacji Niedoboru Jodu finansowanego przez Ministerstwo Zdrowia [Szybiński i wsp., 2008]. Aktualnie zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 16 września 2010 r. w sprawie substancji wzbogacających dodawanych do żywności do soli przeznaczonej do spożycia przez ludzi dodawany jest jodek potasu (30 ± 10 mg/kg) lub jodan potasu (39 ± 13 mg/kg), tak aby 100 g soli kuchennej zawierało $2,3 \pm 0,77$ mg jodu [Rozporządzenie MZ, 2010]. Polska w 2002 roku znalazła się w grupie krajów o wystarczającej podaży jodu, a obowiązkowe jodowanie soli kuchennej okazało się efektywną strategią zmniejszenia częstości występowania wola endemicznego [Szybiński i wsp., 2008].

W warunkach obligatoryjnego modelu profilaktyki konieczne jest monitorowanie wielkości pobrania jodu z diety. Krajowe badania przeprowadzone przez Instytut Żywności i Żywienia wśród dzieci w wieku szkolnym (9-13 lat) wykazały, że 62% badanych diet pokrywało średnie dzienne zapotrzebowanie organizmu na jod, a sól kuchenna stanowiła główne źródło tego pierwiastka w całodziennej diecie - 68%. Wobec zaleceń do obniżania spożycia soli kuchennej w ramach działań prewencyjnych chorób układu krążenia, przyjęto iż poziom jodowania soli powinien być na tyle wysoki, aby przy odstawieniu lub znaczącym ograniczeniu jej spożycia, rekompensować zmniejszone spożycie jodu z solą [Stoś, 2016].

Efektywność modelu profilaktyki jodowej i stan zaopatrzenia organizmu w jod jest przedmiotem wielu badań. W ostatnich krajowych

badaniach po upływie 20 lat od wprowadzenia profilaktyki jodowej wykazano, że obowiązkowe jodowanie soli w Polsce doprowadziło do optymalizacji zawartości jodu w populacji ogólnej. Jednak nie zapewniło to odpowiedniego stanu odżywiania jodem dla wszystkich grup populacyjnych. Niedobór jodu wykazano u 8% kobiet w ciąży (stężenia tyreoglobuliny >40 ng/ml: mediana 13,3; IQR-17,0 ng/ml) oraz u 18% kobiet karmiących piersią (stężenia tyreoglobuliny: mediana 18,5; IQR-20,7 ng/ml). W przypadku dzieci w wieku szkolnym 6-12 lat, niedobór jodu odnotowano u 9,4% uczniów (stężenie jodu w moczu <50 µg/l) [Trofimiuk-Müldner i wsp., 2020].

W innych krajowych badaniach oceniających również 20-letni okres obserwacji podaży jodu u dzieci w wieku szkolnym 6-14 lat z centralnej Polski potwierdzono, że profilaktyka jodowania soli okazała się skuteczną metodą eliminacji niedoboru jodu. W ostatnich latach dywersyfikacja źródeł jodu, pomimo zmniejszenia spożycia soli, doprowadziła do wzrostu jodurii (wydalania jodu z moczem) do wartości (mediana: 288 µg/l) zbliżonych do górnej granicy przyjętej jako norma. Dalszy wzrost podaży jodu może mieć działanie niepożądane. Autorzy tych badań wskazują na konieczność stałego monitorowania profilaktyki jodowej [Zygmunt i wsp., 2019].

Przykładem również efektywnego programu profilaktyki jodowej jest model wprowadzony w Finlandii, który polega zarówno na jodowaniu soli kuchennej (25 mg jodku potasu/kg soli), jak i wprowadzeniu jej do pieczywa. Podobnie w Australii i Danii, sól jodowana jest używana do produkcji chleba [Finnish Food Authority, 2015].

Żelazo

Powszechne występowanie niedoboru żelaza na świecie oceniane jest jako duże. W przeciwieństwie do jodu i witaminy A, znacznie trudniej jest wykazać, że krajowe programy wzbogacania żelaza poprawiły stan zdrowia populacji. Jedną z trudności w wykazaniu wpływu wzbogacania żelaza jest to, że niedobór żelaza nie prowadzi do łatwo rozpoznawalnych objawów niedoboru, a objawy kliniczne zależą w dużej mierze od szybkości i stopnia narastania niedokrwistości, a także od wielu czynników uzależnionych od stanu ogólnego, wieku i chorób towarzyszących [Waller i wsp. 2020]. Niedobory żelaza w organizmie

mogą mieć różne podłoże. Najczęściej są skutkiem niedostatecznego spożycia z pożywieniem, mogą też wynikać z zaburzeń we wchłanianiu bądź nadmiernych strat w wyniku krwawień menstruacyjnych czy różnych chorób. Do grup populacyjnych, u których występuje zwiększone ryzyko niedoborów tego pierwiastka, należą niemowlęta (szczególnie urodzone przedwcześnie i z niską masą urodzeniową), małe dzieci, kobiety w ciąży i karmiące oraz kobiety w wieku rozrodczym [Gera i wsp., 2012; Waller i wsp., 2020; WHO/FAO, 2006].

Ocena skuteczności w ramach przeglądu systematycznego i meta-analizy randomizowanych badań eksperymentalnych wykazała, że spożycie żywności wzbogaconej w żelazo skutkowało poprawą stężenia hemoglobiny, ferrytyny w surowicy i stanu odżywiania żelazem [Gera i wsp., 2012]. W innych badaniach również potwierdzono skuteczność wprowadzonego programu. Wykazano, że wzbogacenie w żelazo mleka w proszku i mąki kukurydzianej znacznie zmniejszyło częstość występowania niedokrwistości u kobiet oraz dzieci [Martorell i wsp., 2015]. Niestety, wykorzystanie tego parametru do monitorowania programów wzbogacania żelaza może być również problematyczne, ze względu na możliwą inną etiologię oprócz niedoboru żelaza (np. choroby pasożytnicze, niedobory innych składników mineralnych). Aby zmniejszyć częstość występowania niedokrwistości w tych krajach, oprócz wzbogacania żywności konieczne są również inne interwencje [Waller i wsp., 2020].

Według krajowych badań spożycie żelaza i stan odżywienia tym pierwiastkiem młodych kobiet jest często nieprawidłowy. W przeprowadzonym badaniu interwencyjnym dotyczącym oceny efektywności stosowania produktów wzbogaconych żelazem wśród młodych kobiet w wieku 19-26 lat wykazano, że ponad połowa (54%) kobiet uzupełniała dietę żelazem w postaci produktów wzbogaconych lub suplementów diety. Spożycie żelaza ze wszystkich źródeł było istotnie większe niż w grupie kobiet niestosujących uzupełniania. Jednak nie wykazano istotnych różnic w parametrach stanu odżywienia pomiędzy grupą uzupełniającą a nieuzupełniającą dietę żelazem. W przeprowadzonym badaniu stwierdzono, że niekontrolowane, przypadkowe uzupełnianie diety żelazem nie poprawiało stanu odżywienia badanych młodych kobiet, a w przypadku niektórych kobiet stwarzało niebezpieczeństwo

przekroczenia ustalonej dla żelaza dawki UL [Jeruszka-Bielak i wsp., 2011]. Nadmiar jonów żelaza w organizmie może nasilać w tkankach procesy oksydacyjne, doprowadzając do zwiększonego powstawania szkodliwych wolnych rodników tlenowych. Duże dawki mogą również zmniejszać wchłanianie innych składników mineralnych (cynku, miedzi, manganu) [Baye, 2019; Verkaik-Kloosterman i wsp., 2012].

W Polsce wzbogacenie żywności w żelazo odbywa się na zasadzie dobrowolności. Na podstawie analizy asortymentu rynkowych produktów wzbogaconych odnotowano, że żelazo jest dodawane do ok. 47% produktów. Najliczniejszą grupę stanowiły produkty zbożowe, w tym płatki śniadaniowe. Ponadto był obecny w słodyczach i w mniejszym stopniu w napojach aromatyzowanych oraz w napojach pochodzenia roślinnego [Renc i wsp., 2016].

Kwas foliowy

W ostatnich latach zwrócono szczególną uwagę na funkcje kwasu foliowego w organizmie człowieka, a zwiększenie spożycia tej witaminy jest celem wielu różnych strategii żywieniowych, również w ramach programów profilaktycznych. W promocji zdrowia podkreśla się znaczenie kwasu foliowego w zapobieganiu powstawania wrodzonych wad cewy nerwowej u noworodków [Castillo-Lancellotti i wsp., 2013; Cawley i wsp., 2016], zmniejszeniu ryzyka chorób układu sercowo-naczyniowych (m. in. choroby niedokrwiennej serca), chorób neurodegeneracyjnych oraz niektórych typów nowotworów [Mackerras i wsp., 2014].

Obowiązkowe wzbogacenie mąki kwasem foliowym jest uznane jako najważniejsza od dziesięcioleci interwencja żywieniowa istotna dla zdrowia publicznego [Castillo-Lancellotti i wsp., 2013; Keats i wsp., 2019; Steluti i wsp., 2017]. W wielu krajach, w latach 90-tych, m. in. w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie, Argentynie, Costa-Rica, Chile, Iranie, Jordanii, gdzie fortyfikacja została wdrożona i zbadana, stwierdzono istotne zmniejszenie częstości występowania u noworodków wad cewy nerwowej [Castillo-Lancellotti, 2013]. Australia, m. in. w tym celu wdrożyła w 2009 r. obowiązkowe wzbogacenie kwasem foliowym mąki pszennej do wypieku chleba. Według najnowszych badań, potwierdzeniem poprawy stanu odżywienia kwasem foliowym jest istotne zmniejszenie częstości występowania wad cewy nerwowej

w porównaniu do danych z okresu przed wprowadzeniem tych zaleceń [Saing i wsp., 2019].

Stosowanie obowiązkowego wzbogacenia mąki pszennej i kukurydzianej w kwas foliowy było również przedmiotem oceny 10-letniej polityki wzbogacania tych produktów w Brazylii. Badania te wykazały, że tylko 1,8% populacji miało niedobór kwasu foliowego (<6,8 nmol/l), a produkty wytworzone z tej mąki stanowiły ponad 50% udział w całodziennym spożyciu tej witaminy [Steluti i wsp., 2017]. W ostatnich badaniach brazylijskich wykazano, że wprawdzie średnie spożycie folianów było zadawalające, to odsetek osób ze spożyciem <EAR wynosił ok. 31,5%. Odnotowano, że niedobór dotyczył głównie grup populacyjnych o niskim statusie ekonomicznym oraz kobiet w wieku rozrodczym. Stwierdzono, że jest to grupa ryzyka i należy podjąć działania aby zwiększyć dostępność wzbogacanej mąki oraz wielkość jej dziennego spożycia [Palchetti i wsp., 2020].

Wzbogacanie obowiązkowe żywności kwasem foliowym jest obecnie dyskutowane. Dostrzega się między innymi problem związany z tym, że kwas foliowy w dużych dawkach może maskować dolegliwości lub nawet choroby spowodowane niedoborem witaminy B₁₂, zwłaszcza u osób starszych, a także ze względu na ryzyko nadmiernego pobrania i przekroczenia dawki UL, u osób które jednocześnie stosowały suplementację tą witaminą [Mudryj i wsp., 2016]. Pewne wątpliwości budzą również doniesienia o wpływie dużych jego dawek na zwiększenie ryzyka rozwoju chorób nowotworowych, m. in. jelita grubego. Wobec tych przesłanek ważne są wyniki metaanalizy, które są częścią badań dotyczących monitorowania obowiązkowego efektu wzbogacania mąki pszennej w Australii. Na podstawie danych z badań obserwacyjnych wykazano, że ryzyko względne (RR, *relative risk*) wynosiło 1,04 dla wszystkich przypadków nowotworów, w tym 1,0 (jelito grube; płuca), 0,82 (piersi), 1,16 (prostaty) i 1,11 (w przypadku nawrotu gruczolaka jelita grubego). Żadne ze wskazanych zagrożeń nie było istotne statystycznie. Nie stwierdzono również istotnego związku ze śmiertelnością z jakiegokolwiek przyczyny (RR=0,99; 95% CI: 0.92-1.05) [Mackerras i wsp., 2014].

Do tej pory żaden kraj w Europie nie wprowadził obowiązkowego wzbogacania mąki kwasem foliowym [Global Fortification Data

Exchange, 2020]. Obecnie w Europie w ramach profilaktyki zapobiegania wrodzonym wadom cewy nerwowej dla wszystkich kobiet w okresie przedkoncepcyjnym i w pierwszych tygodniach ciąży zalecane jest: zwiększenie spożycia produktów naturalnie bogatych w foliany, jak również wzbogaconych w ten składnik oraz codzienne przyjmowanie suplementu diety zawierającego kwas foliowy [Cawley i wsp., 2016]. Rekomendacje Polskiego Towarzystwa Ginekologów i Położników obejmują podobne zalecenia, w tym stosowanie przez wszystkie kobiety w wieku reprodukcyjnym preparatu witaminowego zawierającego 0,4 mg kwasu foliowego lub więcej w przypadku kobiet z grupy ryzyka [Bomba-Opoń i wsp., 2017].

Według krajowych badań spożycie folianów wśród młodych kobiet w wieku 19-26 lat jest niewystarczające. Stwierdzono, że realizacja normy na ten składnik wynosiła średnio ok. 77%, a u 25% badanych nie przekroczyła 62%. W przeprowadzonym badaniu interwencyjnym stwierdzono, że wdrożona interwencja żywieniowa, zarówno w postaci spożycia produktów wzbogaconych w kwas foliowy (płatki śniadaniowe, soki i napoje owocowe/warzywne), jak i stosowania suplementu diety, przyniosła istotną poprawę stanu odżywienia folianami u kobiet, u których wyjściowe stężenia folianów we krwi były w dolnych granicach wartości referencyjnych. Odnotowano również istotne obniżenie poziomu homocysteiny w surowicy krwi średnio o ok. 19% i 24% u osób o najniższym wyjściowym poziomie folianów (pierwszy i drugi kwartyl). W żadnym przypadku nie wykazano przekroczenia dawki UL [Pietruszka, 2007]. W Polsce wzbogacenie produktów kwasem foliowym odbywa się na zasadzie dobrowolności. Na podstawie analizy asortymentu rynkowych produktów wzbogacanych odnotowano, że jest dodawany do płatków śniadaniowych, mąk pszennych, soków, nektarów, napojów owocowych, słodyczy, margaryn, kakao, herbat instant oraz produktów mlecznych. Spośród całego asortymentu najliczniejszą grupę produktów z dodatkiem kwasu foliowego stanowiły płatki śniadaniowe (43%) oraz soki i napoje bezalkoholowe (27%) [Sicińska i wsp., 2011].

Witamina D

Powszechnie się uznaje, że wśród przeważającej części społeczeństwa na świecie, w tym również w Polsce występuje niedobór witaminy D. Głównym jej źródłem jest synteza w skórze. Obecnie

znaczenie syntezy skórnej dla zaopatrzenia organizmu w witaminę D zmniejsza się ze względu na zmianę stylu życia i ograniczanie ekspozycji na słońce. Spośród produktów spożywczych najbogatszym jej źródłem są tłuste ryby, ale ich spożycie poza krajami skandynawskimi i południową Europą jest niewystarczające [Kiely i Cashman, 2018; Hayes, 2017; Pilz i wsp., 2018]. W zakresie profilaktyki niedoboru witaminy D rozważana jest fortyfikacja większej liczby wybranych produktów żywnościowych, do których podczas procesów technologicznych dodawane są cholekalcyferol lub ergokalcyferol, np. mleko i jego przetwory, chleb, płatki śniadaniowe, soki owocowe. Obecnie zakres wzbogacania żywności różni się pomiędzy krajami, a zasięg nie jest powszechny, co wiąże się, z tym że produkty te nie uzupełniają w sposób istotny podaży witaminy D, za wyjątkiem preparatów do żywienia niemowląt i małych dzieci, których wzbogacanie jest obligatoryjne [Hayes, 2017; Pilz i wsp., 2018]. Mając na uwadze wyniki ostatnich badań, preferowaną strategią dla poprawy stanu zaopatrzenia w witaminę D jest wzbogacanie żywności na poziomie populacyjnym pod warunkiem, że wystarczająco przeprowadzony jest monitoring i określone są grupy populacyjne [Grønberg i wsp., 2020; Kiely i Cashman, 2018; Hayes i Cashman, 2017]. Mleko, jogurt i inne produkty mleczne wskazywane są jako ważna grupa produktów, gdzie wzbogacanie mogłoby być na poziomie ok. 0,1 $\mu\text{g}/100\text{g}$ [Itkonen i wsp., 2018]. Inne opcje, takie jak biofortyfikacja produktów spożywczych pochodzenia zwierzęcego, takich jak jaja, ryby hodowlane można również rozważyć jako dodatkowe sposoby zwiększenia spożycia witaminy D w populacji [Kiely i Cashman, 2018]. Natomiast mięso powinno być uważnie rozważane jako dodatkowy sposób na zwiększenie spożycia witaminy D w populacji.

Dobrym przykładem efektywnej strategii jest wzbogacenie w witaminę D₃ mleka (0,5 $\mu\text{g}/100\text{g}$) i margaryn i tłuszczów do smarowania (10 $\mu\text{g}/100\text{g}$), co potwierdziły 11-letnie fińskie badania oceniające stan zaopatrzenia w witaminę D różnych grup mieszkańców tego kraju. Wykazano, że stężenie poziomu 25(OH)D we krwi wzrosło z 48 do 65 nmol/l , a występowanie niedoborów ocenione jako 25(OH)D < 30 nmol/l , zmniejszyło się z 12 do 1% badanych osób [Jääskeläinen i wsp., 2018]. Podobne korzystne efekty wprowadzonej interwencji żywieniowej polegającej na spożyciu diety zawierającej

20 µg/dzień witaminy D, w skład której wchodziły następujące wzbogacone produkty, tj. jogurt, sera, jaja i pieczywa, odnotowano także w badaniu kobiet w Danii. Po 12-tygodniowej interwencji stwierdzono statystycznie istotny wzrost stężenia 25(OH)D oraz zmniejszenie odsetka osób z niedoborem tej witaminy D do 3% w porównaniu do grupy kontrolnej - 23% [Grønberg i wsp., 2020].

W Polsce obligatoryjnie wzbogaca się w witaminę D margaryny i mieszanki masła z olejem (maksymalna ilość nie większa niż 7,5 µg/100g) [Rozporządzenie MZ, 2010] oraz mleka dla niemowląt (początkowe i następne), a także mleka modyfikowane dla dzieci [Rozporządzenie Komisji (UE), 2016]. W badaniach krajowych wykazano, że poza tym na rynku znajdują się różne produkty wzbogacone przez producentów dobrowolnie, takie jak płatki śniadaniowe, mleko i napoje mleczne, jogurty, serki homogenizowane, desery mleczne, soki, napoje kakaowe instant oraz roślinne napoje (substytuty mleka). Analizując asortyment tych produktów z dodatkiem witaminy D pod kątem wartości odżywczej oszacowano, że wprowadzenie do diety wzbogaconych produktów, takich jak: mleko, jogurt, płatki bez dodatku cukru, sok owocowy dało 3-krotnie większą zawartość witaminy D. Natomiast zastąpienie produktów niefortyfikowanych, produktami wzbogaconymi, takimi jak: mleka smakowe, płatki śniadaniowe i inne produkty zbożowe, spowodowało 3,5-krotnie większy wzrost zawartości tej witaminy w diecie, przy jednoczesnym istotnym zwiększeniu zawartości cukrów dodanych, w tym 2-krotnie większej zawartości sacharozy. Stwierdzono, że produkty te różnią się istotnie wartością energetyczną i odżywczą, dlatego aby spełniały pozytywną rolę w uzupełnianiu niedoborów tej witaminy należy zalecać produkty wzbogacone w witaminę D o prozdrowotnym profilu żywieniowym, tj. z małą zawartością cukrów dodanych, soli i/lub nasyconych kwasów tłuszczowych [Wierzbicka i wsp., 2018].

Zwiększenie spożycia witaminy D możliwe jest nie tylko poprzez odpowiednią dietę z włączonymi produktami wzbogaconymi, ale także poprzez stosowanie dodatkowych źródeł w postaci suplementów diety. Biorąc pod uwagę coraz większą popularność suplementów i stosowanie ich bez kontroli, taka postawa niesie jednak ryzyko przekroczenia wartości dawki górnego tolerowanego poziomu spożycia. Pobranie

witaminy D w nadmiarze, w postaci preparatów farmaceutycznych prowadzi do hiperwitaminozy. Objawia się to, m. in. hiperkalcemią, hiperkalcurią z zagrożeniem uszkodzenia kanalików nerkowych i powstawania kamieni nerkowych, a także zwiększeniem odkładania się wapnia w niektórych tkankach miękkich oraz w naczyniach krwionośnych. Opisane w literaturze przypadki hiperwitamininozy D wynikały przede wszystkim z omyłkowego lub nieświadomego podania dużych dawek preparatów witaminy D [Verkaik-Kloosterman, 2012]. Dlatego dla optymalnej profilaktyki niedoboru witaminy D i zwiększenia jej spożycia zalecane jest postępowanie na poziomie populacyjnym, jak i indywidualnym według krajowych zaleceń [Pilz i wsp., 2018].

Podsumowanie

Wzbogacanie żywności jest efektywną strategią zwiększenia spożycia deficytowych składników odżywczych, szczególnie kiedy opracowane są krajowe programy oraz prowadzona jest kontrola niedoboru witamin i/lub składników mineralnych, ze wskazaniem populacyjnych grup ryzyka. Działania te powinny być prowadzone w sposób zrównoważony z naciskiem na zdrowie konsumenta. Mając na uwadze bezpieczeństwo konsumenta, wzbogacanie żywności wymaga szeregu ustaleń, zarówno w zakresie doboru nośnika, rodzaju, form chemicznych, jak i ilości substancji wzbogacającej oraz znakowania żywności i warunków jej kontroli. W celu ochrony przed ewentualnym ryzykiem nadmiarów niektórych witamin, czy składników mineralnych konieczne jest stałe monitorowanie spożycia produktów będących nośnikami deficytowego składnika, szczególnie w grupach ryzyka. Efektywne programy z solą jodowaną, produktami zbożowymi wzbogaconymi kwasem foliowym i żelazem oraz produktami mlecznymi wzbogaconymi witaminą D, mogą korzystnie wpływać i poprawić zdrowie konsumentów. Stanowi to pożądaną kierunek w zapobieganiu i profilaktyce wielu chorób. Konsument może dokonywać wyboru w zakresie produktów o dużych walorach żywieniowych, a także uzupełniać zwyczajową dietę w oparciu o rynkowe produkty wzbogacone o prozdrowotnym profilu żywieniowym. Konieczne w tym zakresie są odpowiednie kampanie informacyjne i edukacyjne aby

kształtować racjonalne postawy konsumentów z punktu widzenia ich zdrowia.

Piśmiennictwo:

1. Baye K: Maximising benefits and minimising adverse effects of micronutrient interventions in low- and middle-income countries. *Proceedings of the Nutrition Society*, 2019, 78, 4, 540-546.
2. Bielderman I, Vossenaar M, Melse-Boonstra A, Solomons NW: The potential double-burden of vitamin A malnutrition: under- and overconsumption of fortified table sugar in the Guatemalan highlands. *Eur J Clin Nutr*. 2016, 70, 8, 947-53.
3. Bomba-Opoń D, Hirnle L, Kalinka J, Seremak-Mrozikiewicz A: Folate supplementation during the preconception period, pregnancy and puerperium. *Polish Society of Gynecologists and Obstetricians Guidelines. Ginekol Pol*. 2017, 88, 11, 633-636.
4. Bruins, MJ, Mugambi G, Verkaik-Kloosterman J, i wsp.: Addressing the risk of inadequate and excessive micronutrient intakes: traditional versus new approaches to setting adequate and safe micronutrient levels in foods. *Food Nutr Res*, 2015. 59, 26020, 1-10.
5. Brzozowska A: Wzbogacanie żywności i suplementacja diety składnikami odżywczymi – korzyści i zagrożenia. *Żywność. Nauka Technologia Jakość*, 2001, supl. 29, 4, 16-28.
6. Castillo-Lancellotti C, Tur JA, Uauy R.: Impact of folic acid fortification of flour on neural tube defects: A systematic review. *Public Health Nutr*. 2013;16, 901-911.
7. Cawley S, Mullaney L, McKeating A, i wsp.: A review of European guidelines on periconceptual folic acid supplementation. *Eur J Clin Nutr*, 2016, 70, 143-154.
8. Dufour A, Wetzler S, Touvier M.: Comparison of different maximum safe levels in fortified foods and supplements using a probabilistic risk assessment approach. *Br J Nutr*, 2010, 104, 1848-1857.
9. Dwyer JT, Wiemer KL, Dary O. i wsp.: Fortification and health: Challenges and opportunities, *Advances in Nutrition*, 2015, 6, 1, 124-131.
10. Finnish Food Authority, 2015. The National Nutrition Council recommends the following actions to improve the iodine intake of the population. <https://www.ruokavirasto.fi/en/themes/healthy-diet/nutrients/iodine/>
11. Flynn A, Hirvonen T, Mensink GB, Ocké MC, Serra-Majem L, Stos K, Szponar L, Tetens I, Turrini A, Fletcher R, Wildemann .: Intake of selected

- nutrients from foods, from fortification and from supplements in various European countries. *Food Nutr Res*, 2009, 53. 10.3402/fnr.v53i0.2038.
12. Flynn A, Kehoe L, Hennessy Á. i wsp.: Estimating safe maximum levels of vitamins and minerals in fortified foods and food supplements. *Eur J Nutr*, 2017, 56, 2529-2539.
 13. Gawęcki J: Wzbogacanie żywności [W:] *Żywienie człowieka. Podstawy nauki o żywieniu człowieka*, Gawęcki J. (red.), Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2017.
 14. Gera T, Sachdev HS, Boy E: Effect of iron-fortified foods on hematologic and biological outcomes: systematic review of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr*, 2012, 96, 2, 309-24.
 15. Global Fortification Data Exchange, 2020, Available online: <http://www.fortificationdata.org> dostęp. z dn. 01.09.2020.
 16. Grønberg IM, Tetens I, Christensen T. i wsp.: Vitamin D-fortified foods improve wintertime vitamin D status in women of Danish and Pakistani origin living in Denmark: a randomized controlled trial. *Eur J Nutr.*, 2020, 59, 741–753.
 17. Gronowska-Senger A: *Żywienie, styl życia a zdrowie Polaków. Żyw, Człow i Metab.*, 2007, 34,1/2, 12-21.
 18. Hayes A, Cashman DK: Food-based solutions for vitamin D deficiency: Putting policy into practice and the key role for research. *Proceedings of the Nutrition Society*, 2017, 76, 1, 54-63.
 19. Hennessy A, Walton J, Flynn: The impact of voluntary food fortification on micronutrient intakes and status in European countries: a review. *Proc. Nutr. Soc*, 2013, 72, 433-440.
 20. Itkoen ST, Erkkola M, Lamberg-Allardt CJE: Vitamin D fortification of fluid milk products and their contribution to vitamin D intake and vitamin D status in observational studies -a review. *Nutrients*, 2018, 10, 1054.
 21. Jääskeläinen T, Itkonen ST, Lundqvist A i wsp.: The positive impact of general vitamin D food fortification policy on vitamin D status in a representative adult Finnish population: evidence from an 11-y follow-up based on standardized 25-hydroxyvitamin D data. *Am J Clin Nutr.*, 2017, 105, 6, 1512-1520.
 22. Jeruszka-Bielak M, Brzozowska A, Kałuża J, Pietruszka B: Stosowanie suplementów i produktów wzbogaconych żelazem a stan odżywienia tym pierwiastkiem studentek SGGW. *Probl. Hig. Epidemiol.* 2011, 92, 3, 603-609.
 23. Keats EC, Neufeld LM, Garrett GS, i wsp.: Improved micronutrient status and health outcomes in low- and middle-income countries following large-

- scale fortification: Evidence from a systematic review and meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2019, 109, 1696-1708.
24. Kiely M, Cashman KD.: Summary outcomes of the ODIN Project on food fortification for vitamin D deficiency prevention. *Int J Environ Res Public Health*. 2018, 15, 2342, 1-14.
 25. Kunachowicz H, Ratkowska B: Wzbogacanie żywności jako instrument optymalizacji sposobu żywienia społeczeństwa [W:] Żywnienie człowieka a zdrowie publiczne. Gawęcki J., Roszkowski W. (red.), Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2017.
 26. Mackerras D, Tan J, Larter C: Folic acid, selected cancers and all-cause mortality: A meta-analysis. *Int. Food Risk Analysis Journal*, 2014, 4, 1, doi; 0.5772/58396.
 27. Martorell R, Ascencio M, Tacsan L, i wsp.: Effectiveness evaluation of the food fortification program of Costa Rica: impact on anemia prevalence and hemoglobin concentrations in women and children. *Am J Clin Nutr*. 2015 101, 1, 210-217.
 28. Mensink GB, Fletcher R, Gurinovic M, Huybrechts I, Lafa L, Serra-Majem L, Szponar L, Tetens I, Verkaik-Kloosterman J, Baka A, Stephen AM: Mapping low intake of micronutrients across Europe. *Br. J. Nutr.* 2013, 110, 755-773.
 29. Mkambula P, Mbuya MNN, Rowe LA, i wsp.. The unfinished agenda for food fortification in low- and middle-income countries: Quantifying progress, gaps and potential opportunities. *Nutrients*. 2020, 29, 12, 2, 354.
 30. Mudryj A, De Groh M, Aukema H, Yu N: Folate intakes from diet and supplements may place certain Canadians at risk for folic acid toxicity. *Br. J. Nutr.*, 2016, 116,7, 1236-1245.
 31. Palchetti CZ, Steluti J, Verly E, i wsp.: Prevalence of inadequate intake of folate after mandatory fortification: results from the first National Dietary Survey in Brazil. *Eur J Nutr* 2020, 59, 2793–2803.
 32. Pietruszka B: Efektywność uzupełniania diety folianami na tle czynników ryzyka niedoboru folianów u młodych kobiet. Wyd. SGGW, 2007.
 33. Pilz S, März W, Cashman KD, Kiely ME, i wsp.: Rationale and plan for vitamin D food fortification: A review and guidance paper. *Front Endocrinol*, 2018, 9, 373.
 34. Ramírez-Luzuriaga MJ, Larson LM, Mannar V, Martorell R. Impact of double-fortified salt with iron and iodine on hemoglobin, anemia, and iron deficiency anemia: A systematic review and meta-analysis. *Advances in Nutrition*, 2018, 9, 3, 207-218.

35. Renc P, Sicińska E, Jeruszka-Bielak M: Analysis of food with added minerals available on the Warsaw market. *J. Elem.*, 2016. 21, 4, 1115-1125.
36. Report FFM 2020, Fortified Foods Market: Global industry analysis 2013-2018 and opportunity assessment 2019-2027. <https://www.futuremarketinsights.com/press-release/fortified-food-market>
37. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1925/2006 w sprawie dodawania do żywności witamin i składników mineralnych oraz niektórych innych substancji (Dz. Urz. UE L 404 z 30.12.2006, z późn. zm.).
38. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 16 września 2010 r. w sprawie substancji wzbogacających dodawanych do żywności (Dz. U. 2010, nr 174, poz. 1184).
39. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1169/2011 z dnia 25 października 2011 r. w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat żywności (Dz. Urz. UE L 304 z 22.11.2011, z późn. zm.).
40. Rozporządzenie (WE) nr 1924/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 20 grudnia 2006 r. w sprawie oświadczeń żywieniowych i zdrowotnych dotyczących żywności (Dz. Urz. L 404 z 30.12.2006, z późn.zm.).
41. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 432/2012 z dnia 16 maja 2012 r. ustanawiające wykaz dopuszczonych oświadczeń zdrowotnych dotyczących żywności, innych niż oświadczenia odnoszące się do zmniejszenia ryzyka choroby oraz rozwoju i zdrowia dzieci (Dz. Urz. L 136 z 25.5.2012, z późn.zm.).
42. Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2016/127 z dnia 25 września 2015 r. uzupełniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 609/2013 w odniesieniu do szczegółowych wymogów dotyczących składu preparatów do początkowego żywienia niemowląt i preparatów do dalszego żywienia niemowląt oraz informacji na ich temat, a także w odniesieniu do informacji dotyczących żywienia niemowląt i małych dzieci (Dz. Urz. L 025 z 2.2.2016, z późn. zm.).
43. Saing S, Haywood P, van der Linden N. i wsp.: Real-world cost effectiveness of mandatory folic acid fortification of bread-making flour in Australia. *Appl. Health Econ. Health Policy*. 2019, 17, 243-254.
44. Sicińska E, Pelc A: Produkty wzbogacone jako potencjalne źródło kwasu foliowego w żywieniu człowieka. *Roczn. PZH* 2011, 62, 2, 209- 214.
45. Steluti J, Selhub J, Paul L, i wsp.: An overview of folate status in a population-based study from São Paulo, Brazil and the potential impact of

- 10 years of national folic acid fortification policy. *Eur J Clin Nutr.*, 2017, 71, 1173-1178.
46. Stoś K: Profilaktyka niedoboru jodu w Polsce [w:] *Żywność, żywienie w prewencji i leczeniu chorób – postępy 2015. Materiały Kongresowe, IŻŻ, Warszawa dn. 20.01.2016*, str. 35-36.
 47. Szybiński Z, Golkowski F, Buziak-Bereza M, i wsp.: Effectiveness of the iodine prophylaxis model adopted in Poland. *J. Endocrinol. Invest.*, 2008, 31, 4, 309-13.
 48. Tanumihardjo SA, Mokhtar N, Haskell MJ, Brown KH: Assessing the safety of vitamin A delivered through large-scale intervention programs: Workshop Report on setting the research agenda. *Food Nutr Bull.*, 2016, 37, 2 Suppl, 63-74.
 49. Trofimiuk-Müldner, M., Konopka, J., Sokołowski, G. i wsp.: Current iodine nutrition status in Poland (2017): Is the Polish model of obligatory iodine prophylaxis able to eliminate iodine deficiency in the population? *Public Health Nutrition*, 2020, 23, 14, 2467-2477.
 50. Verkaik-Kloosterman J, McCann MT, Hoekstra J, Verhagen H.: Vitamins and minerals: issues associated with too low and too high population intakes, *Food Nutr. Res.*, 2012, 56:1, DOI: 10.3402/fnr.v56i0.5728
 51. Wądołowska L: *Przyczyny zaburzeń zdrowia o podłożu żywieniowym na świecie [W:] Żywienie człowieka a zdrowie publiczne. Gawęcki J., Roszkowski W. (red.), Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2017.*
 52. Waller AW, Andrade JE, Mejia LA: Performance factors influencing efficacy and effectiveness of iron fortification programs of condiments for improving anemia prevalence and iron status in populations: A systematic review. *Nutrients* 2020, 12, 275.
 53. WHO/FAO, 2006. Guidelines on food fortification with micronutrients, Genewa, 2006, <https://www.who.int/publications/i/item/9241594012>
 54. Wierzbicka E, Wierzgała E., Brzozowska A: Produkty wzbogacone w witaminę D w żywieniu człowieka: Korzyści i zagrożenia. Konferencja Naukowa pt. Fizjologiczne uwarunkowania postępowania dietetycznego, Warszawa, 8-9.11.2018, str. 75.
 55. Zygmunt A, Adamczewski Z, Wojciechowska-Durczynska K, i wsp., Evaluation of the effectiveness of iodine prophylaxis in Poland based on over 20 years of observations of iodine supply in school-aged children in the central region of the country. *Arch Med Sci.* 2019;15, 6, 1468-1474.

Dr hab. Joanna Kobus–Cisowska, prof. UPP

Katedra Technologii Gastronomicznej i Żywności Funkcjonalnej

Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Żywność wzbogacona w diecie współczesnego konsumenta – technologia wytwarzania

Wstęp

Na rynku pojawia się coraz więcej produktów wzbogaconych czyli fortyfikowanych. Zabiegi te mają na celu przede wszystkim zapobieganie niedoborom kluczowych składników w diecie, ale także uatrakcyjnienie asortymentu wytwarzanych produktów, wpływając tym samym na konkurencyjność producentów. Dzięki produktom fortyfikowanym możliwe jest bezpośrednie oddziaływanie na sposób żywienia poprzez uzupełnianie racji pokarmowej. Fortyfikację stosuje się w różnym zakresie, w zależności od przyczyn niedoborów i grup populacyjnych, których niedobory dotyczą. Stosuje się tam, gdzie wzbogacanie żywności odgrywa istotną rolę w prewencji pierwotnej, a więc redukcji ryzyka określonej choroby na skalę populacyjną.

Problemy technologiczne związane ze wzbogacaniem żywności

Wzbogacanie żywności ma podłoże żywieniowe, i obejmuje nie tylko obligatoryjne prawo zobowiązujące producentów do dodawania odpowiedniej ilości witamin lub składników mineralnych (np. jodowanie soli czy margaryn w witaminę A oraz D), ale także proces wzbogacania nieobligatoryjnego, czyli wzbogacania dobrowolnego, gdzie producenci uatrakcyjniamy swoje produkty (np. napoje z dodatkiem witaminy C, B, E, kawa wzbogacona w magnez czy wyroby cukiernicze wzbogacone w witaminy z grupy B, kwas foliowy, wapń lub żelazo). Bez względu jednak na to, czy stosowana jest fortyfikacja obligatoryjna czy też dobrowolna, dodawany składnik nie może w żaden sposób wpływać na barwę, konsystencję, cechy użytkowe produktu, jakość mikrobiologiczną, a także trwałość produktu. Dlatego wzbogacanie żywności stanowi problem technologiczny w ujęciu dotyczącym nie tylko zapewnienia odpowiedniej podaży danego składnika, ale także w ujęciu

formy i sposobu w jakiej składnik może być aplikowany do danego asortymentu żywności. Ponadto, wzbogacanie żywności wiąże się z problemami, które dotyczą oceny stopnia interakcji pomiędzy składnikami fortyfikowanymi, a np. matrycą żywności lub innymi składnikami znajdującymi się w produkcie.

Na tego typu interakcje może mieć wpływ wiele czynników, takich jak jednorodność czy homogenność produktu, parametry technologiczne na etapie wytwarzania produktu, ewentualny sposób regenerowania produktu przed spożyciem, czy czas i sposób jego przechowywania. Przykładem takich zmian może być pojawienie się odbarwień w postaci czarnych plamek w soli jodowanej, wynikających z oddziaływania między jodem i żelazem, w obecności czynników utleniających i wilgoci w opakowaniu [McGee i Diosady, 2016]. W technologii opracowano różne technologie mające na celu rozwiązanie tych problemów, takie jak stosowanie stabilizatorów i kapsułkowanie żelaza i/lub jodu [Mannar i Hurrell, 2018; Diosady i wsp., 2019]. Takie zabiegi oczywiście powodują wzrost cen towaru, który jak w przypadku soli, ma ograniczoną elastyczność cenową. Istotną kwestią w stosowaniu soli jako nośnika jodu w diecie jest fakt, że wiele krajów podejmuje strategie redukcji spożycia soli, celem poprawy zdrowia publicznego w celu zmniejszenia ryzyka chorób o podłożu metabolicznym, takich jak nadciśnienie. Wraz ze spadkiem spożycia soli konieczne jest aktualizowanie i dostosowanie procesu produkcyjnego soli jodowanej w kontekście zapotrzebowania na jod. Zatem pośrednim problemem technologicznym w tym zakresie są zmiany dotyczące struktury spożycia poszczególnych grup asortymentowych produktów w ramach populacji, co w szczególności dotyczy produktów obligatoryjnie wzbogacanych.

Z drugiej strony w soli jodowanej podczas nieprawidłowego przechowywania obniża się zawartość jodu. Dlatego ważne jest przechowywanie soli jodowanej bez dostępu światła i powietrza. Podczas gotowania zalecane jest solenie w końcowej fazie przygotowania potrawy. Aby zwiększyć dostępność i stabilność jodu w soli jodowanej należy wzbogacać sól wysokiej jakości, zarówno pod względem jej czystości, jak i wilgotności.

Podobnie jak w przypadku soli, oceniano efektywność wzbogacania cukru witaminą A i kwasem foliowym [Li i wsp., 2011]. Wykazano,

że kwas foliowy był bardziej stabilny po wcześniejszym wzbogaceniu witaminą A. W tym przypadku zaobserwowano korzystną interakcję pomiędzy tymi składnikami. Retencja witaminy A w cukrze po 9 miesiącach przechowywania w temperaturze 40°C i wilgotności względnej 60% wynosiła 70%. Podobnie jednak jak w przypadku wzbogacania soli jodem, wdrożenie takich rozwiązań powinno być dostosowane do strategii ograniczania spożycia cukru w diecie.

W odniesieniu do produktów spożywczych stanowiących bazę wielu potraw, w szczególności w krajach azjatyckich jest ryż, który jest podstawowym produktem dla prawie połowy światowej populacji i jest powszechnie spożywany w regionach, w których przeważają niedobory mikroelementów, takich jak żelazo oraz witamin z grupy B [Champagne i wsp., 2004; Picolli i wsp., 2016]. Wzbogacanie ryżu zostało wprowadzone po raz pierwszy ponad 65 lat temu i od tego czasu opracowywano technologię wzbogacania na dużą skalę tak, aby otrzymany produkt był bezpieczny, akceptowalny i miał dobrą stabilność dodanych składników odżywczych [Milani i wsp., 2016]. Do tej pory wzbogacanie ryżu jest obowiązkowe w kilku krajach, lecz nie w Polsce. Jednakże problemy technologiczne związane ze wzbogacaniem ryżu okazały się wybiegać poza oczekiwania technologów i dotyczyły żółtych przebarwień. Przypadek taki miał miejsce na Filipinach, gdzie aby uniknąć skutków niedoborów witaminy B₂, rozpoczęto wzbogacanie ryżu. W związku z tym, że witamina ta ma silne żółtopomarańczowe zabarwienie, powodowała zabarwienie części ziaren ryżu. Konsumenty uważali te ziarna za niezdatne do spożycia i usuwali je podczas przygotowywania posiłków, co skutkowało niepowodzeniem tego przedsięwzięcia.

Biofortyfikacja ryżu to kolejna alternatywa dla poprawy wartości odżywczej ryżu, ale stoi ona przed problemami i wyzwaniem w zakresie komercjalizacji i łagodzenia negatywnego postrzegania żywności modyfikowanej genetycznie przez społeczeństwo, nawet w przypadku odmian biofortyfikowanego ryżu, które nie są genetycznie modyfikowane [Costa-Font i wsp., 2008]. Biofortyfikacja polega na wzbogacaniu podłoża (gleby) w składniki pokarmowe, które są absorbowane przez roślinę podczas jej wzrostu. W tym zakresie problem związany z wdrożeniem takiego produktu do obrotu nie dotyczy samej technologii, ale potrzeby działań marketingowych mających na celu

budowanie popytu konsumentów poprzez edukację i ich uświadamianie [Tsakirpaloglou i wsp., 2019].

Również inne rośliny takie jak zboża, gryka czy nasiona roślin strączkowych można wzbogacić poprzez biofortyfikację. Przykładem może być wzbogacanie w żelazo soczewicy, która jest podstawą diety na Bliskim Wschodzie i w Azji Południowej [Podder i wsp., 2017]. Teoretycznie takie zabiegi umożliwiają zapewnienie odpowiedniej podaży tego składnika lecz problem technologiczny stanowi jakość sensoryczna i biodostępność żelaza. Bez negatywnego wpływu na walory sensoryczne udało się wzbogacić w żelazo przyprawę na bazie ryb oraz sos sojowy [Fidler i wsp., 2003].

Trudnością, którą należy brać pod uwagę rozważając możliwości wzbogacania żywności kwasem foliowym, jest ich nietrwałość w procesach technologicznych. Liczne badania dowodzą, że pod względem chemicznym, kwas foliowy jest związkiem ulegającym degradacji. Podczas ogrzewania w środowisku kwaśnym lub alkalicznym następuje hydrolityczne odszczepienie reszty p-aminobenzoiłoglutaminianowej, natomiast w środowisku obojętnym rozkład jest nieznaczny. Kwas foliowy jest także wrażliwy na światło, czynniki utleniające oraz redukujące. W aspekcie suplementacji mąki czy pieczywa, najważniejsze jest ograniczenie strat w procesie obróbki cieplnej w produktach spożywczych zawierających foliany. Straty te mogą dochodzić nawet do 60%. Aby zachować możliwie największą zawartość folianów, zaleca się skracanie czasu przechowywania mąki i obróbki cieplnej produktu spożywczego, podczas których, dochodzi do utleniania kwasu foliowego. Wyeliminowanie tej reakcji jest bardzo trudne. Podobnie dzieje się podczas gotowania na parze, suszenia rozpyłowego, czy produkcji płatków zbożowych, owsianych i herbatników. Można zminimalizować ten proces poprzez stosowanie antyoksydantów, takich jak kwas askorbinowy czy tiole.

Problemy technologiczne stosowania fortyfikantów związane są też z formą składnika. W procesie fortyfikacji wapniem, np. produktów mleczarskich ale także innych produktów, najbardziej kluczowym elementem jest odpowiedni dobór związków, będących nośnikiem tego składnika. Stosowany preparat zawierający wapń musi być przede wszystkim dobrze przyswajalny i biodostępny, aby wzbogacanie

umożliwiło zapobieganie niedoborom. Ponadto, podobnie jak w przypadku każdego składnika jakim wzbogaca się produkt, preparat wapnia musi być odpowiednio tani, aby nie wpłynął znacząco na wzrost ceny końcowego produktu - biorąc pod uwagę produkty mleczne, gdzie cena jednostkowa, np. jogurtu, jest stosunkowo niska. Oczywiście stosowane preparaty wapnia czy też magnezu muszą być bezwzględnie bezpieczne dla zdrowia. Pod względem technologicznym powinny charakteryzować się odpowiednią rozpuszczalnością, wysoką stabilnością chemiczną oraz cieplną, poza tym nie mogą zmieniać cech sensorycznych produktów. W zakresie możliwości stosowania wapnia dostępnych jest wiele soli wapniowych. Sole nierozpuszczalne w wodzie są obojętne wobec kazeiny i mogą być dodawane do mleka przed obróbką termiczną, albowiem nie zwiększają prawdopodobieństwa termicznej koagulacji białek mleka. Jednak ich zastosowanie wiąże się z ryzykiem sedymentacji w produktach płynnych. Z drugiej strony interakcje białek z jonami wapnia mogą mieć wpływ na stabilność cieplną mleka. Dodatek wapnia powoduje wzrost zawartości jonów wapnia w serum mleka, spadek wartości pH oraz stabilności cieplnej. Związanie jonów wapnia poprzez dodatek fosforanów lub cytrynianów powoduje wzrost stabilności. Odporność białek na procesy koagulacyjne zależy od dawki soli fortyfikujących, które nie powodują zachwiania układu jonów w mleku. Ilości te zależą od rodzaju soli, a także od zawartości Ca lub Mg w danym związku, rozpuszczalności soli w wodzie, oraz od składu chemicznego mleka i jego stabilności cieplnej. Zbyt duży dodatek soli powoduje zmiany kwasowości mleka oraz wytrącenie białek. Na polskim rynku pojawiły się ostatnio produkty wzbogacane skorupą jaj. W tym przypadku problem technologiczny dotyczy sposobu rozdrobnienia preparatu [Kowalska i wsp., 2012; Kobus-Cisowska i wsp., 2020].

Wzbogacanie żywności solami magnezu, podobnie jak w przypadku soli wapnia, niesie ze sobą pewne ryzyko otrzymania produktów o niższej, w porównaniu do tradycyjnych, jakości sensorycznej. Siarczan magnezu może wpływać niekorzystnie na cechy wzbogaconego produktu, powodując charakterystyczny gorzki smak. Z kolei, zastosowanie do wzbogacania węglanu magnezu wpływa korzystnie na cechy smakowe. Węglan magnezu stosowany jest do wzbogacania serków typu cottage i twarożków. Pozostałe związki magnezu, m. in. tlenek, wodorotlenek

oraz fosforany dwu i trójmagnezowe, są nierozpuszczalne lub słabo rozpuszczalne w wodzie. We wzbogaconym mleku spożywczym lub w napojach fermentowanych mogą się one osadzać w postaci nierozpuszczalnego osadu [Barone i wsp., 2020].

Preparaty do wzbogacania żywności

W odpowiedzi na wymagania nie tylko konsumentów, ale także innowacyjnych producentów, przemysł spożywczy oprócz rozwoju asortymentu żywności o prozdrowotnych walorach, koncentruje uwagę na aspekcie sensorycznym oraz możliwości wzbogacenia ich o nowe składniki odżywcze, nie tylko z grupy witamin i składników mineralnych. Najnowsze innowacyjne rozwiązania w technologii wytwarzania żywności wzbogaconej dotyczą opracowania produktów wzbogaconych w ekstrakty roślinne, białka, aminokwasy czy też probiotyki. Technologiczne rozwiązania umożliwiają redukcję niepożądanych efektów sensorycznych wynikających z zastosowania dodatkowych składników pokarmowych. Żywność z dodatkiem witamin i składników mineralnych stanowi podstawę asortymentu żywności wzbogaconej, a głównie są to napoje, mleko i przetwory mleczne oraz wyroby cukiernicze. W związku z tym, że dodatkowymi składnikami wpływającymi na uatrakcyjnienie produktów są ekstrakty roślinne (z liści, owoców, korzeni, kory), frakcje roślinne (błonnik) czy aminokwasy, zaistniała potrzeba realizacji intensywnych działań nad opracowaniem skutecznych metod projektowania i przygotowywania stabilnych i efektywnych preparatów do wzbogacania [Santiago i wsp., 2015].

Ważnym sposobem pozwalającym na uzyskanie efektywnego preparatu do wzbogacania, umożliwiającego pozbawienie niekorzystnych cech sensorycznych i wzmocnienie stabilności podczas przechowywania jest technologia nanokapsułkowania i mikrokapsułkowania, znana i wykorzystywana od wielu lat w przemyśle, w szczególności farmaceutycznym i chemicznym. Najczęściej rozmiary kapsułek mieszczą się w zakresie od 100 do 5000 μm ale są też kapsułki, których rozmiary są poniżej 100 μm . Aktualnie proces mikrokapsułkowania w przemyśle spożywczym stosowany jest do zamykania składników odżywczych, enzymów, komórek i innych dodatków, celem uzyskania preparatów

do wzbogacania w sposób niewyczuwalny sensorycznie dla konsumenta lub celem kontrolowanego uwalniania w przewodzie pokarmowym [Dhakai i He, 2020]. Zasadniczo wytwarzanie nano- i mikrokapsułek polega na powlekanii cienkim filmem polimeru (pojedyncza kapsułka) lub ulokowaniu substancji rdzenia w wytworzonej matrycy polimeru (aglomerat) przez okluzję i/lub adsorpcję. Wspomniany proces tworzenia polega bezpośrednio na tworzeniu kapsułki, zbudowanej z otoczki, wokół stałych lub płynnych składników aktywnych, stanowiących rdzeń kapsułki. Otrzymana formuła mikrokapsułek umożliwia ich zastosowanie jako składników produktów żywnościowych, ograniczając wywoływanie niekorzystnego efektu sensorycznego, a także powodując ich kontrolowane uwalnianie w określonym czasie i określonej objętości w przewodzie pokarmowym. Obserwowany gwałtowny rozwój technik oraz metod kapsułkowania składników, którymi wzbogaca się żywność, spowodował rozwój wielu metod i technik pozyskiwania gotowych do stosowania preparatów kapsułkowanych (Korus i wsp., 1997).

Mikrokapsułkowanie za pomocą suszenia rozpyłowego polega na zdyspergowaniu substancji aktywnej w roztworze substancji powlekającej i rozpyleniu powstałej dyspersji w gorącej komorze suszarki. Proces ten powoduje odparowanie rozpuszczalnika polimeru powlekającego i utworzenia mikrokapsułek. Najczęściej stosowanym materiałem powlekającym są polisacharydy, takie jak modyfikowana skrobia czy guma arabska. Jednak w celu zminimalizowania powstających strat w trakcie suszenia opracowano modyfikacje tej metody. Głównie są to: zestalanie rozpyłowe, chłodzenie rozpyłowe, rozpylanie na proszek odwadniający i rozpylanie do cieczy odwadniającej.

Mikrokapsułkowanie poprzez powlekanie polega na zanurzeniu składnika aktywnego w złożu fluidalnym. Jakość otrzymanych mikrokapsułek zależy od szybkości podawania roztworu powlekającego, szybkości podawania ciepłego powietrza, temperatury procesu i wilgotności. Najczęściej stosowanym materiałem powlekającym są pochodne celulozy, dekstryny, emulgatory, tłuszcze albo pochodne skrobi. Stosuje się je w postaci stopionej lub w roztworze, w którym rozpuszczalnikiem jest ciecz łatwo parująca.

Mikrokapsułkowanie za pomocą ekstruzji jest najbardziej polecaną metodą mikrokapsułkowania związków termolabilnych, takich jak aromaty, barwniki, witamina C i inne, ze względu na niską temperaturę procesu. W tej metodzie urządzenie do mikrokapsułkowania składa się z generatora kropelek i wanny z kąpielą utwardzającą, gdzie utwardzanie może zachodzić w wyniku żelowania, zestalania kropelek przez chłodzenie albo przez zanurzenie w kąpeli zawierającej medium powodujące twarwienie otoczek na drodze chemicznej, np. przez chelatowanie. W metodzie tej używany jest często stabilizator w celu ochrony mikrokapsułek przed koagulacją [Favaro-Trindade i wsp., 2020].

Mikrokapsułkowanie przy zastosowaniu procesów suspensyjnych polega na tworzeniu mikrokapsułek w systemie dwufazowej zawiesiny. Substancję aktywną rozpuszcza się lub dysperguje w roztworze polimeru powlekającego. Całość następnie wprowadza się do ośrodka zawieszającego w celu wytworzenia „mikrokropelek”, które twarzną tworząc mikrokapsułki. Uzyskane mikrokapsułki dekantuje się i filtruje, ewentualnie wiruje.

Mikrokapsułkowanie poprzez współkrystalizację umożliwia pozyskanie preparatu, który nie jest typową kapsułką. Sposób ten polega na jednoczesnej krystalizacji składnika aktywnego wraz ze składnikiem tworzącym matrycę, np. sacharozą. Proces ten przeprowadza się w przesyconym roztworze sacharozy, który ogrzewa się do temperatury 121°C w ciągu kilku sekund. W kolejnym etapie dodawany jest roztwór składnika aktywnego, co powoduje obniżenie temperatury i zapoczątkowuje samoczynną, momentalną krystalizację. Podczas tego procesu tworzą się mikrokryształy sacharozy o średnicy 3-30 μm, które następnie łączą się w agregaty, z rozwiniętą powierzchnią. W wolnych przestrzeniach wewnątrz aglomeratów, jak również na ich powierzchni wykrytuje drugi, aktywny składnik [Korus i wsp., 1997].

Mikrokapsułkowanie w cyklodekstrynach, które zaliczane są do polisacharydów, zbudowanych z kilku do kilkunastu jednostek glukopiranozowych, układających się w kształt ściętego stożka z otworem w środku. Cyklodeskriny pozyskiwane są w wyniku enzymatycznej konwersji skrobi. Dzięki swojej charakterystycznej budowie są gotową mikrokapsułką i mogą przyjmować do wnętrza różne substancje tworząc z nimi kompleksy inkluzyjne (włączeniowe).

Produkcja tego typu kompleksów jest stosunkowo łatwa, a ich stabilność wysoka [Chaudhry i wsp., 2011].

Modyfikacją, a właściwie postępowaniem wynikającym z rozwoju metod mikrokapsułkowania są procesy dotyczące nanotechnologii. Struktury wytwarzane w skali nano produkowane są na wzór nanostruktur występujących w przyrodzie, takich jak: białka, DNA, membrany i inne naturalne biomolekuły. Gdy wielkość cząstek zmniejsza się poniżej ich wartości progowej, uzyskany materiał wykazuje fizyczne i chemiczne właściwości znacznie odmienne od tych, które cechują ich odpowiedniki makroskopowe [Głód i wsp., 2014; Chaudhry i wsp., 2011]. Z powodu korzystnego stosunku powierzchni do jednostki masy oczekuje się, że nanocząstki będą bardziej aktywne biologicznie niż makrocząstki o tym samym składzie chemicznym. Wykazano, że wiele składników, w tym składników aktywnych, zachowuje się odmiennie w skali molekularnej. Głównym celem stosowania technologii w wymiarach nano jest dążenie do poprawy tekstury produktów oraz wprowadzanie składników funkcjonalnych bez wpływu na sensoryczne właściwości produktu [Głód i wsp., 2014; Chaudhry i wsp., 2010]. Do uzyskania struktur określanych mianem nanocząstek można stosować metody fizykochemiczne (rozdrabnianie mechaniczne, odparowanie rozpuszczalnika, odsalanie, elektronatryskiwanie, nanowytrącanie, spontaniczną emulsyfikację) oraz metody biologiczne, np. z wykorzystaniem wirusów, bakterii, grzybów pleśniowych czy też roślin. Jednym z powszechnie stosowanych procesów w syntezie nanomateriałów na skalę masową jest wysokoenergetyczne mielenie. Proces ten polega na rozdrabnianiu materiału pomiędzy dwoma obracającymi się żarnami, wykonanymi ze stali bądź węglika wolframu [Chaudhry i wsp., 2008]. W takim procesie dodatek funkcjonalny, np. frakcja roślinna, bez dostępu powietrza poddawana jest w młynie cyklicznym odkształceniom, co powoduje zmniejszanie się rozmiarów ziarna i tworzenie nowych granic ziaren w cząstkach proszku. Można przyjąć, że w procesie wytwarzania nanomateriałów, które będą pełniły rolę dodatków funkcjonalnych w żywności, wykorzystuje się dwie techniki: system *top-down*, który polega na redukcji rozmiarów cząstek lub *bottom-up*, który polega na tworzeniu nowych struktur na dotychczasowych nanocząstkach. W zależności od uzyskania zamierzonych właściwości końcowego

produktu, podstawą nanostruktur w metodzie *bottom-up* mogą być atomy, molekuly lub nanocząstki. Uzyskanie preparatu do wzbogacania żywności, o zaplanowanych cechach lub funkcjonalności możliwe jest dzięki uzyskaniu zmiany wielkości budulca, kontrolowaniu cech jego powierzchni i wnętrza, a także poprzez wywołanie warunków łączenia się nanocząsteczek w nanomateriał. Uważa się, że główną zaletą stosowania nanocząstek i nanomateriałów jest uzyskanie większej powierzchni zewnętrznej, tym samym zwiększenie absorpcji wody, poprawy uwalniania substancji funkcjonalnych, zwiększenie biodostępności i przyspieszenie procesów katalitycznych, co uzyskiwane jest dzięki homogenności preparatu. Dla przykładu, stosując mikronizację można otrzymać preparat ze skorupy jaj do wzbogacania w wapń produktów spożywczych bez powodowania efektu piaszczystości [Kobus-Cisowska i wsp., 2020].

Kolejną formą tworzenia układów typu składnik aktywny – nośnik, są tzw. liposomy. Do ich wytwarzania wykorzystuje się procesy tworzenia koloidów, takich jak micelle i pęcherzyki surfaktantowe czy dyspersje lipidowe. Pierwszy raz liposomy zostały opisane przez Banghama i współpracowników w 1965 roku. Przedstawiono wówczas metodę otrzymywania liposomów poprzez uwadnianie cienkiego filmu fosfolipidowego [Bangham i wsp., 1965]. Następnie, opracowano wiele nowych technik i ich modyfikacji zarówno otrzymywania liposomów jak i obróbki uzyskanych liposomów mającej na celu ujednoczenie ich rozkładu i rozmiaru. Liposomy, czyli pęcherzyki lipidowe zbudowane są z jednej lub kilku warstewek tłuszczowych. Najczęściej składnik aktywny zamknięty jest wewnątrz wodnej fazy pęcherzyka (w jego środku), ale może też zostać włączony wewnątrz struktury lipidowej. Aktualnie liposomy nie znalazły szerszego zastosowania w technologii żywności, m. in. ze względu na słabą retencję składnika aktywnego w porównaniu z innymi mikrokapsułkami. Literatura podaje przykłady udanych doświadczeń, gdzie użyto zamkniętą w liposomach proteinazę, którą zastosowano przy produkcji sera podpuszczkowego, co miało znacznie skracać czas jego dojrzewania.

Znając tę technikę, szczególnego znaczenia nabrały, nowe możliwości tworzenia preparatów ze związkami hydrofobowymi. Jednym z wyzwań stawianych technologii wzbogacania żywności było

opracowanie odpowiedniej postaci rozpuszczalnej w tłuszczach witaminy A oraz jej prowitaminy. W tym zakresie poszukiwanie odpowiednich nośników witaminy A było ważne, ze względu na jej ograniczoną stabilność, nierozpuszczalność w wodzie oraz toksyczny wpływ nadmiaru witaminy na organizm. Zatem znaczącym osiągnięciem było uzyskanie stabilnego układu retinolowego z wykorzystaniem technologii tworzenia liposomów. Prowadzone badania nad stabilnością oraz biodostępnością witaminy A wykazały, że liposomowe, emulsyjne oraz stałe lipidowe formułacje retinolu i jego pochodnych, jak również ich kompleksy inkluzyjne z cyklodekstrynami są możliwe do zaimplementowania w produktach żywnościowych wzbogaconych [Dhakal, 2020].

Wzbogacanie żywności dotyczy nie tylko witamin i składników mineralnych. Żywność wzbogacana jest także preparatami pozyskanymi z surowców roślinnych czyli ekstraktami lub innymi preparatami, np. mielonymi frakcjami roślin czy składnikami pochodzenia zwierzęcego, np. kolagenem. Jako nośniki tych składników, stosowanych w procesie mikro- i nanokapsułkowania wykorzystuje się maltodekstryny lub inulinę, ale także inne hydrokoloidy. Maltodekstryny otrzymuje się w wyniku hydrolizy skrobi [Przybysz i wsp., 2012; Santiago i wsp., 2015]. Wskaźnikiem określającym ich właściwości jest równoważnik glukozowy DE, który określa procentowy udział cukrów redukujących, wyrażonych jako glukoza, w przeliczeniu na suchą masę produktu. Im wyższy jest równoważnik glukozowy, tym większa jest stabilność przechowalnicza substancji, takich jak β -karoten. Stosowanie maltodekstryn jako nośników, niesie za sobą wiele korzyści, takich jak: niska cena, dobra rozpuszczalność w wodzie, tworzenie roztworów o niskiej lepkości, brak obcych i niepożądanych posmaków, dostępność w różnych wariantach DE oraz, szczególnie przydatne w procesie mikrokapsułkowania, tworzenie szklistych barierowych powłok, co korzystnie wpływa na stabilność mikrokapsułek. Wykazują one także właściwości prebiotyczne, co jest dodatkowym atutem przemawiającym za ich stosowaniem [Saavedra-Leos i wsp., 2015]. Z drugiej strony wadą jest brak właściwości emulgujących. Do tworzenia nośników substancji wzbogacających stosowana jest też guma arabska - najczęściej stosowana jako nośnik w procesie mikrokapsułkowania metodą suszenia rozpyłowego. Guma arabska jest dobrym emulgatorem oraz stabilizatorem.

Do wad gumy arabskiej można zaliczyć brak wyrównania jakości poszczególnych partii gumy oraz jej stosunkowo wysoką cenę. Kolejnym nośnikiem są skrobie modyfikowane chemicznie. Są one korzystne w procesie mikrokapsułkowania i kontrolowanego uwalniania substancji aktywnej, ze względu na mikroporowatą strukturę oraz możliwość otaczania substancji przez sieć cząstek amylozy, które dodatkowo wiążą substancje wiązaniami wodorowymi. Skrobie takie mogą być wykorzystane w zastępstwie gumy arabskiej jako materiał ściany mikrokapsulek, ponieważ w wyniku modyfikacji mogą stabilizować emulsje. Przykładowe skrobie stosowane jako nośniki to skrobia modyfikowana (E 1450). Celem wzbogacania żywności w składniki aktywne jako nośniki do wytwarzania mikrokapsulek stosowane są też różne połączenia, np. mieszaniny gumy arabskiej z maltodekstrynami i/lub skrobią modyfikowaną, które mogą stanowić materiał ścian mikrokapsulek o lepszych właściwościach niż pojedyncze substancje [Saavedra-Leos i wsp., 2015]. Takie zastosowanie zostało opracowane dla β -karotenu mikrokapsułkowanego metodą suszenia rozpyłowego. Na nośniku z maltodekstryny i inuliny udało się opracować pieczywo wzbogacone ekstraktem z łuski cebuli. Wykazano, że chleby z dodatkiem ekstraktów z cebuli mikrokapsułkowanych w proporcji ekstraktu do nośnika 1:1 i 1:2 cechowały się dużą wydajnością. Dodatek samego ekstraktu z cebuli powodował zmniejszenie objętości chleba. Natomiast chleby z ekstraktem mikrokapsułkowanym w maltodekstrynie miały większą objętość niż te z mikrokapsułkami zawierającymi inulinę. Wykazano, że dodatek mikrokapsułkowanych ekstraktów z cebuli istotnie zwiększał zawartość polifenoli ogółem oraz aktywność przeciwutleniającą chleba, a zawartość polifenoli i aktywność przeciwutleniająca w chlebach pszennych z dodatkiem ekstraktów z cebuli mikrokapsułkowanych z inuliną i maltodekstryną była największa przy stosowaniu mikrokapsulek o proporcji ekstraktu do nośnika 1:1.

W technologii wytwarzania preparatów do wzbogacania stosowane są też skrobie modyfikowane typu OSA (sól sodowa oktenylobursztynianu sodowego). Są to rozpuszczalne w wodzie polimery aktywne powierzchniowo, które zarówno wspomagają emulgowanie, jak i stabilizują układy o charakterze emulsji typu olej w wodzie. Suszenie

rozpyłowe tego typu emulsji umożliwia mikroapsułkowanie fazy olejowej w stałej matrycy otrzymanego proszku. W wyniku suszenia rozpyłowego emulsji olejów zawierających składniki aktywne, którymi wzbogaca się żywność, z udziałem skrobi OSA można otrzymać drobnoziarniste proszki, sypkie, niezbyt łatwo odtwarzalne w wodzie.

Nową kategorią procesów technologicznych pozwalających na efektywne wzbogacanie żywności jest stosowanie szczepów probiotycznych. Szczepy probiotyczne same w sobie stanowią element, który uatrakcyjnia żywność, ale jak wskazują liczne dane naukowe, zwiększenie zawartości kwasu foliowego w produktach spożywczych, może odbywać się poprzez modyfikację warunków procesu technologicznego oraz zastosowanie wyselekcjonowanych szczepów drożdży i kultur bakterii mlekowych [Gonczewicz i wsp., 2011]. Procesy takie jak fermentacja nie powodują strat, a dodatkowo umożliwiają podniesienie stężenia folianów w żywności. Zauważono to na przykładzie takich produktów jak chleb, wino, piwo oraz fermentowanych produktów mlecznych jak: jogurt, kefir, masło, czy ser [Rhee i wsp., 2010]. Zbadano, że biomasa drożdży *Saccharomyces cerevisiae* wykorzystywana w piekarstwie syntetyzuje relatywnie wysokie dawki tetrahydrofolianu. Aktualnie przeprowadza się wiele eksperymentów nad wykorzystaniem ich w produkcji pieczywa o podwyższonej zawartości kwasu foliowego dla konkretnych, docelowych grup populacyjnych. Mimo strat związanych z procesem termicznym wypieku, wykazano, że zawartość aktywnego kwasu foliowego w świeżym chlebie, była wysoka a kwas foliowy był o wysokiej biodostępności [Gonczewicz i wsp., 2011]. Dlatego obiecujące są dalsze prace optymalizujące procesy technologiczne tak, aby zwiększyć zawartość kwasu foliowego w gotowym produkcie lub zajmujące się selekcją kultur syntetyzujących podwyższone ilości kwasu foliowego, np. w fermentowanych produktach mlecznych. Innym sposobem na zwiększenie zawartości kwasu foliowego w żywności, obok fortyfikowania żywności syntetycznym związkami oraz prowadzenia technologii wykorzystującej naturalne szczepy, są metody polegające na zastosowaniu inżynierii genetycznej, m. in. klonowania oraz mutagenезы ukierunkowanej. W literaturze dostępne są dane na temat udanych eksperymentów nad zwiększeniem zawartości kwasu foliowego

w roślinach, np. pomidorach i rzodkiewniku pospolitym (*Arabidopsis thaliana*) poprzez zmianę ekspresji genu kodującego enzym GTP-cyklohydrolazę oraz genu ADCS. W badanych roślinach uzyskano poprawę wydajności biosyntezy folianów od 4 do nawet 1250 razy.

Ostatnią techniką pozwalającą na uzyskanie żywności wzbogaconej metodą bezpośrednią jest biofortyfikacja. Jest to metoda hodowli roślin oraz produkcji, której zadaniem jest wzbogacenie wartości odżywczej produktu, poprzez uzupełnienie go o biodostępne składniki pokarmowe jak: cynk, żelazo, wapń, miedź, jod, selen czy magnez, które występują w naturalnej diecie człowieka w niewielkiej ilości. Rośliny uprawne mogą pobierać składniki z roztworu glebowego poprzez korzenie lub bezpośrednio z powietrza, np. przez liście. Najbardziej popularne jest wzbogacanie roślin w jod – w tym przypadku rośliny mogą być wzbogacane zarówno poprzez nawożenie doglebowe jak i nalistne. Doglebowe nawożenie jodem zalicza się do tak zwanych agrostrategii biofortyfikacji [Haas i wsp., 2015]. Skuteczność takiej metody może być ograniczona między innymi poprzez silną sorpcję jodu w glebie, przemiany powodowane przez glebowe kwasy humusowe prowadzące do ulotnienia jodu z gleby do atmosfery. Dodatkowymi ograniczeniami może być proces metylacji jodu, polegający na uwolnieniu tego pierwiastka w formie CH_3I z rośliny do atmosfery. Innym sposobem aplikacji jest nawożenie nalistne wodnym roztworem jodu [Voogt i wsp., 2010]. W tym celu może być wykorzystany jodek potasu w odpowiedniej dawce, tak aby nie uszkodzić roślin. Jednak nie wszystkie gatunki roślin uprawnych są tolerancyjne na zwiększoną dawkę jodu, co może doprowadzić do wcześniejszego zamierania roślin, a tym samym do obniżenia plonu. Do roślin tolerujących biofortyfikację jodem należy sałata, pomidor, bakłażan, ziemniak, marchew oraz ziarna zbóż, między innymi ryż i owies [White i Broadley, 2009]. Biofortyfikacja roślin w ważne dla zdrowia ludzkiego składniki to bieżąca problematyka wielu badań naukowych. Ze względu na ciągle aktualny problem, związany z niedoborem jodu w organizmie człowieka i powiązanymi z tym negatywnymi skutkami zdrowotnymi, proces biofortyfikacji może stać się w niedalekiej przyszłości obiecującym źródłem wzbogacenia diety w ten i inne mikro i makroelementy.

Podsumowanie

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania konsumentów żywnością wzbogaconą. W tym aspekcie producenci poszukują nowych sposobów na zaspokojenie potrzeb odbiorców. Dlatego opracowywane są coraz to nowsze sposoby i techniki skutecznego wzbogacania żywności. Dodatki te stanowią ważny segment związków wykorzystywanych w przemyśle spożywczym. Nowe sposoby to m. in. mikrokapsułkowanie, biofortyfikacja, a także zwiększona biosynteza związków bioaktywnych z udziałem szczepów mikroorganizmów.

Piśmiennictwo:

1. Bangham A.D., Standish M.M., Watkins J.C., Diffusion of univalent ions across the lamellae of swollen phospholipids, *Journal of Molecular Biology*, 1965,13(1), 238-252.
2. Barone G., Moloney C., O'Regan J., Kell A.L, O'Mahony J.A., Influence of calcium fortification on physicochemical properties of whey protein concentrate solutions enriched in α -lactalbumin, *Food Chemistry*, 2020, 1(317), 126412.
3. Champagne E.T., Wood D.F., Juliano B.O., Bechtel D.B., The rice grain and its gross composition, in *Rice: Chemistry and Technology*, American Association of Cereal Chemists: St. Paul, MN, USA, 2004,77–107.
4. Chaudhry Q., Castle L., Food Applications Of Nanotechnologies: An Overview Of Opportunities And Challenges For Developing Countries, *Trends Food Sci Technol*, 2011, 22, 595-603.
5. Chaudhry Q., Castle L., Watkins R., Nanotechnologies In The Food Arena: New Opportunities New Questions New Concerns, *Nanotechnologies In Food*, Royal Society Of Chemistry Publishers, 2010, 1-17.
6. Chaudhry Q., Scotter M., Blackburn J., Ross B., Boxall A., Castle L., Aitken R., Watkins R., Applications and implications of nanotechnologies for the food sector, *Food Addit Contam, Part A: Chemistry Analysis Control Exposure and Risk Assessment*, 2008, 25(3), 241-258.
7. Costa-Font M., Gil J.M., Traill W.B., Consumer acceptance, valuation of and attitudes towards genetically modified food: Review and implications for food policy, *Food Policy*, 2008, 33, 99–111.
8. Dhakal S.P., He J., Microencapsulation Of Vitamins In Food Applications To Prevent Losses In Processing And Storage: A review, *Food Research International*, 2020, 11(137).

9. Diosady L.L., Mannar M.G.V., Krishnaswamy K., Improving the lives of millions through new double fortification of salt technology, *Matern Child Nutr*, 2019,15 (S3), 12773.
10. Favaro-Trindade C.S., Patel B., Silva M.P., Comunian T.A., Campanella O.H., Microencapsulation as a tool to producing an extruded functional food, *LWT*, 2020, 6(128), 109433.
11. Fidler M.C., Davidsson L., Walczyk T., Hurrell R.F., Iron absorption from fish sauce and soy sauce fortified with sodium iron EDTA, *Am J Clin Nutr*, 2003,78,274–278.
12. Głód D., Adamczak M., Bednarski W., Wybrane aspekty zastosowania nanotechnologii w produkcji żywności, *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 2014,5 (96),36-52.
13. Goncerzewicz A., Misiewicz A., Wzbogacanie żywności kwasem foliowym - naturalnym metabolitem przemysłowych szczepów drożdży *Saccharomyces Cerevisiae* oraz bakterii fermentacji mlekowej, *Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego*, 2011, 66 (4), 32-52.
14. Haas J.D., Beard J.L., Murray-Kolb L.E., Del Mundo A.M., Felix A., Gregorio G.B., Iron-Biofortified Rice Improves The Iron Stores Of Non-Anemic Filipino Women, *J Nutr*, 2005, 135, 2823-2830.
15. Kobus-Cisowska J., Szymanowska-Powałowska D., Szymandera-Buszka K., Rezler R., Jarzębski M., Szczepaniak O., Marciniak G., Jędrusek-Golińska A., Kobus-Moryson M., Effect of fortification with calcium from eggshells on bioavailability, quality, and rheological characteristics of traditional Polish bread spread, *J. Dairy Sci.* 2020, 103(8), 6918-6929.
16. Korus J., Achremowicz B., Sikora M., Mikrokapsułkowanie substancji spożywczych, *Żywność Technologia Jakość*, 1997, 1(10) 30-40.
17. Kowalska M., Ambroziak A., Aljewicz M., Cichosz G., Wzbogacone w wapń i magnez produkty mleczarskie, *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 2012, 1 93-98.
18. Li Y.O., Diosady L.L., Wesley A.S., Folic acid fortification through existing fortified foods: iodized salt and vitamin a—fortified sugar, *Food Nutr Bull*, 2011,32,35–41.
19. Lucas J., Ralaivao M., Estevinho B.N., Rocha F., A new approach for the *microencapsulation* of curcumin by a spray drying method, in order to value *food* products, *Powder Technology*, 2020, 2(362), 428-435.
20. Mannar M.G.V., Hurrell R.F., In food fortification in a globalized world, Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2018,143–151.
21. McGee E.J., Diosady L.L., Investigation of discoloration of packaged fortified salt under conditions relevant to product packaging and storage, *Food Nutr*, 2016,7,1221–1231.

22. Milani P., Spohrer R., Garrett G., Kreis K., Piloting a commercial model for fortified rice: lessons learned from brazil, *Food Nutr Bull*, 2016,37,290–302.
23. Piccoli N.B., Grede N., de Pee S., Singhkumarwong A., Roks E., Moench-Pfanner R., Martin W.B., Rice fortification: Its potential for improving micronutrient intake and steps required for implementation at scale, *Food and Nutrition Bulletin*, 2012, 360–372.
24. Podder R., Tar'an B., Tyler R.T., Henry C.J., DellaValle D.M., Vandenberg A., Iron fortification of lentil (*lens culinaris medik.*) to address iron deficiency, *Nutrients*, 2017, 9, 863.
25. Przybysz M., Dłużewska E., Korszeń M., Wpływ rodzaju nośnika na trwałość przechowalniczą naturalnego β -karotenu mikrokapsułkowanego metodą suszenia rozpyłowego, *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 2012, 5(84), 84-98.
26. Rhee S. J., Lee J., Lee C., Importance of lactic acid bacteria in Asian fermented foods, *Microbial Cell Factories*, 2011, 10 (1), 1-13.
27. Saavedra-Leos Z., Leyva-Porras C., Araujo-Díaz S.B., Toxqui-Terán A., Borrás-Enríquez A.J., Technological application of maltodextrins according to the degree of polymerization, *Molecules*, 2015, 20, 21067-21081.
28. Santiago A.R., Medina T.L., Gallegos I.J.A., Calderas F., González L.R.F., Rocha G.N.E., Ochoa M.L.A., Bernard B.M.J., Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin, *LWT - Food Science and Technology*, 2015, 64, 571–577.
29. Tsakirpaloglou N., Mallikarjuna Swamy B.P., Acuin C., Slamet-Loedin I.H., Biofortified Zn And Fe Rice: Potential Contribution For Dietary Mineral And Human Health In Nutritional Quality Improvement In Plants, Concepts And Strategies In Plant Sciences, Jaiwal, P., Chhillar, A., Chaudhary, D., Jaiwal, R., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2019, 1–24.
30. Voogt W., Holwerda H.T., Khodabaks R., Biofortification Of Lettuce (*Lactuca Sativa* L.) With Iodine: The Effect Of Iodine Form And Concentration In The Nutrient Solution On Growth, Development And Iodine Uptake Of Lettuce Grown In Water Culture, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90, 906-913.
31. White P.J., Broadley M.R., Biofortification Of Crops With Seven Mineral Elements Often Lacking In Human Diets–Iron Zinc Copper Calcium Magnesium Selenium And Iodine, *New Phytol*, 2009, 182, 49–84.

Polskie Towarzystwo Nauk Żywnościowych

Polskie Towarzystwo Nauk Żywnościowych powstało 25 sierpnia 1980 roku z inicjatywy członków Komitetu Żywnienia Człowieka Polskiej Akademii Nauk, a Honorowym Przewodniczącym został prof. dr hab. Aleksander Szczygieł. Pierwszym Przewodniczącym (obecnie Honorowy Przewodniczący) był prof. dr hab. Stanisław Berger (1980-1986), następnie funkcje tę pełniła przez wiele lat prof. dr hab. Anna Gronowska-Senger (1987-2007) oraz prof. dr hab. Anna Brzozowska (2008-2015).

Główną ideą stworzenia Polskiego Towarzystwa Nauk Żywnościowych było zintegrowanie środowiska naukowego z obszaru nauk medycznych, rolniczych, ekonomicznych, biologicznych i przyrodniczych, działających w zakresie dyscypliny **żywnienie człowieka**. Powołanie Towarzystwa umożliwiło rozwój i podnoszenie prestiżu nauk żywnościowych w naszym kraju w stosunku do innych nauk, stworzenie krajowego forum dla wymiany doświadczeń, poglądów i stanowisk w ważących sprawach objętych właściwościami Towarzystwa, nawiązywanie kontaktów z innymi towarzystwami żywnościowymi, zarówno w kraju jak i poza jego granicami. PTNŻ jest członkiem Federacji Europejskich Towarzystw Żywnościowych (FENS – Federation of European Nutrition Societies).

Podstawowym zadaniem Towarzystwa było i jest organizowanie i popieranie działalności zmierzającej do rozwoju nauk żywnościowych, upowszechnianie i propagowanie osiągnięć naukowych z zakresu żywienia, zarówno w kraju jak i poza jego granicami.

Cele te są realizowane poprzez:

- organizowanie konferencji, zebrań, sympozjów i kongresów naukowych, jak również wykładów, odczytów, wystaw, audycji w środkach masowego przekazu;
- współpracę z krajowymi i zagranicznymi jednostkami zajmującymi się problematyką żywienia;
- prowadzenie działalności wydawniczej;
- społeczne doradztwo naukowe w zakresie nauki o żywieniu człowieka.

Od roku 1993 Polskie Towarzystwo Nauk Żywnościowych, wspólnie z Wydziałem Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji SGGW w Warszawie (obecnie Wydziałem Żywności Człowieka), organizuje corocznie konferencje z cyklu „Fakty i fikcje w żywieniu człowieka”, podejmując różnorodne tematy:

Numer konferencji	Rok	Temat
I	1993	Fakty i fikcje w żywieniu człowieka
II	1994	Odchudzanie
III	1995	Tłuszcze
IV	1996	Suplementacja w żywieniu – za i przeciw
V	1997	Solić, słodzić – zdrowiu szkodzić?
VI	1998	Żywność niekonwencjonalna – za i przeciw
VII	1999	Czy wiemy co jemy?
VIII	2000	Żywność a alergię pokarmowe
IX	2001	Żywność funkcjonalna – blaski i cienie
X	2002	Witaminy antyoksydacyjne – fakty i kontrowersje
XI	2003	Dioksyny – ryzyko dla zdrowia?
XII	2004	Mleko – za i przeciw
XIII	2005	Fosfor w żywieniu człowieka – korzyści i zagrożenia
XIV	2006	Dodatki do żywności – blaski i cienie
XV	2007	Woda – rola i znaczenie w żywieniu człowieka
XVI	2008	Odchudzanie – korzyści i zagrożenia
XVII	2009	Suplementy diety – korzyści i zagrożenia
XVIII	2010	Solić czy nie?
XIX	2011	Czy nasze dzieci wiedzą co jedzą?
XX	2012	Czy warto czytać informacje na opakowaniach produktów spożywczych?
XXI	2013	Napoje energetyzujące – blaski i cienie
XXII	2014	Nutrigenetyka przyszłością żywienia?
XXIII	2015	Dieta bezglutenowa – fakty i mity
XXIV	2016	Bakterie przewodu pokarmowego człowieka – korzyści i zagrożenia?
XXV	2017	Żywność a aktywność fizyczna
XXVI	2018	Kawa, herbata, napoje niskoprocentowe – za i przeciw
XXVII	2019	Diety – moda czy konieczność?
XXVIII	2020	Wzbogacanie żywności – potrzeba czy konieczność?

W 2018 roku Towarzystwo zainauguowało cykl konferencji naukowych, które będą organizowane co 2 lata przez poszczególne Oddziały Towarzystwa. Celem tych cyklicznych konferencji pod hasłem „Dylematy nauki o żywieniu człowieka – dziś i jutro”, jest wymiana poglądów i doświadczeń oraz zaprezentowanie aktualnych badań z zakresu nauki o żywieniu człowieka, realizowanych przez krajowe oraz międzynarodowe ośrodki naukowe. Pierwsza z tego cyklu konferencja dotyczyła roli żywienia w chorobach nowotworowych i odbyła się w dniach 13-14 czerwca 2018 roku w Olsztynie. Materiały konferencyjne są dostępne pod adresem:

<http://ptnz.sggw.pl/> (<http://ptnz.sggw.pl/2018/05/28/i-krajowa-konferencja-naukowa-zywienie-i-nowotwory/>)

Następna konferencja, tym razem o zasięgu międzynarodowym, planowana była w czerwcu 2020 roku w Warszawie. Jednak ze względu na sytuację epidemiczną w kraju i na świecie związaną z rozprzestrzenianiem się wirusa SARS-CoV-2, konferencja odbędzie się w roku 2021. Zapraszamy do Warszawy w następnym roku (w czerwcu 2021 roku).

Polskie Towarzystwo Nauk Żywnościowych prowadzi stronę internetową (ptnz.sggw.pl), aktualizowaną poprzez zamieszczanie informacji o własnej działalności, wydarzeniach podejmowanych przez Towarzystwo oraz innych krajowych i międzynarodowych wydarzeniach naukowych z zakresu nauki o żywieniu człowieka. Przygotowywane są również informacje o Towarzystwie i konferencjach organizowanych lub współorganizowanych, które są przesyłane do innych serwisów internetowych, np.:

www.kalendarzszkolen.mp.pl, www.updates.worldoflearnig.com.

Zarząd Główny oraz Oddziały Towarzystwa prowadzą współpracę o charakterze krajowym i międzynarodowym. W ramach **współpracy krajowej** wymienić należy:

- Komitet Nauki o Żywieniu Człowieka PAN i jego zespoły/komisje
- Polskie Towarzystwo Technologów Żywności
- Polskie Towarzystwo Dietetyki

- Warszawska Szkoła Zdrowia
- Instytut Żywności i Żywienia
- Instytut-Pomnik Centrum Zdrowia Dziecka
- Instytut Matki i Dziecka
- Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii
- Uniwersytety Trzeciego Wieku

a w ramach **współpracy międzynarodowej:**

- Federacja Europejskich Towarzystw Żywnościowych (FENS)
- Międzynarodowa Unia Nauk Żywnościowych (IUNS)
- Europejska Akademia Nauk Żywnościowych (EANS)

Obecnie Towarzystwo liczy ponad 250 członków, tym samym powiększyło skład osobowy prawie 10-krotnie w ciągu 40 lat istnienia. Działa poprzez swoje Oddziały, tj.: Warszawski, Poznański, Krakowski, Gdańsko-Olsztyński oraz Białostocki.

Więcej informacji na temat Polskiego Towarzystwa Nauk Żywnościowych można znaleźć w publikacji:

Kołłajtis-Dołowy A., Hamułka J., Brzozowska A.: „Wkład Polskiego Towarzystwa Nauk Żywnościowych w upowszechnianie wiedzy o prawidłowym żywieniu człowieka”, [w:] Towarzystwa Naukowe w Polsce dziedzictwo, kultura, nauka, trwanie. Kruszewski Z. (red.), Wydawca: Rada Towarzystw Naukowych przy Prezydium PAN, Warszawa 2013, ISBN 978-83-61236-46-7.