

EWA CIEŚLIK, KINGA TOPOLSKA

## WPLYW FRUKTANÓW NA BIODOSTĘPNOŚĆ WYBRANYCH SKŁADNIKÓW MINERALNYCH

### Streszczenie

W pracy przedstawiono przegląd piśmiennictwa krajowego i zagranicznego dotyczącego biodostępności wapnia, magnezu, żelaza, cynku i miedzi oraz wpływu fruktanów na ich absorpcję z diety. Istnieją dowody na to, że fruktany, niskocząsteczkowe węglowodany nie ulegające trawieniu, a będące naturalnie występującymi składnikami diety, mogą polepszać jakość życia i powodować wzrost odporności na choroby ludzi i zwierząt. Do potencjalnych korzyści dla zdrowia można zaliczyć ich funkcję prebiotyczną, zwiększenie odporności na patogeny, obniżanie poziomu lipidów we krwi i ryzyka zachorowania na chorobę wieńcową serca oraz właściwości antynowotworowe. Stymulujący wpływ fruktooligosacharydów (FOS) na biodostępność wybranych pierwiastków można wytłumaczyć fermentacją tych cukrów w jelicie grubym, dzięki czemu powstają krótko łańcuchowe kwasy tłuszczowe, obniża się pH w świetle jelita i następuje przerost jego błony śluzowej, dając w rezultacie zwiększenie absorpcji niektórych składników mineralnych.

### Funkcjonalne właściwości fruktanów

Istnienie ścisłego związku pomiędzy żywieniem a zdrowiem człowieka znane jest od dawna, a w miarę rozwoju wiedzy odkrywane są coraz to nowe funkcje poszczególnych składników pożywienia [16]. W ostatniej dekadzie wzrosło zainteresowanie fruktanami, gdyż okazało się, że dieta bogata w te związki ma ogromne znaczenie dla zdrowia [5, 20, 42].

Fruktany to charakterystyczne cukry zbóż i traw klimatu umiarkowanego [15]. Występują m.in. w pszenicy, cebuli, czosnku, bulwach karczochów i cykorii, w porach, szparagach, topinamburze oraz w bananach. Jedyłą rośliną używaną obecnie do produkcji fruktanów w północno-zachodniej Europie jest cykoria, która wytwarza liniową inulinę [6]. Cukier ten z surowców roślinnych wyodrębnia się w postaci kryształicznej lub w postaci oczyszczonych i zagęszczonych preparatów [17]. Oligosacha-

rydy otrzymuje się w wyniku hydrolizy polisacharydów lub katalitycznej syntezy, względnie izomeryzacji odpowiednich sacharydów [5].

Fruktany są polisacharydami zbudowanymi z jednostek  $\beta$ -D-fruktozy i jednej, na ogół na końcu łańcucha, cząsteczki sacharozy, tworząc rzadko spotykane w przyrodzie łańcuchy składające się z pięcioczłonowych pierścieni furanozowych. Najprostszymi fruktanami są trisacharydy: 1-kestoza, 6-kestoza i neokestoza [15].

Obecnie najwięcej uwagi poświęca się polisacharydom z grupy inulin oraz fruktooligosacharydom, krótko łańcuchowym pochodnym inuliny. Inne określenie tych związków to oligosacharydy niepodlegające trawieniu tzw. NDO (*non digestible oligosaccharides*). Fruktany są mieszaniną oligo- i polimerów o różnym stopniu polimeryzacji i długości łańcucha. Ich skład różni się ponadto w zależności od warunków klimatycznych regionu, w czasie wzrostu i przy zbiorach rośliny, z którego pochodzą [25].

Fruktany (inulina i oligofruktoza) sprawiają, że pożywienie może być zaliczone do żywności funkcjonalnej [25].

Do najważniejszych właściwości fruktanów należy ich funkcja prebiotyczna, czyli stymulacja wzrostu pożądanej flory bakteryjnej (probiotyków) w przewodzie pokarmowym [28, 29]. Związki te są bowiem źródłem węgla zużywanego przez bifidobakterie w okrężnicy. Bakterie metabolizują fruktozę i fruktooligosacharydy do kwasu octowego i mlekowego w proporcji (3:2), najbardziej korzystnej dla przewodu pokarmowego człowieka. W ten sposób utrzymują w jelicie grubym właściwe pH oraz odpowiednią liczbę bakterii właściwych okrężnicy, hamując rozwój bakterii gnilnych i patogennych, a w konsekwencji ograniczając ilość wytwarzanych przez nie substancji toksycznych [4]. Poza tym fruktooligosacharydy wywierają prawdopodobnie ochronne działanie na komórki ścian jelit poprzez blokowanie miejsc, do których mogą przyłączać się bakterie patogenne [38].

Rozwój bifidobakterii w okrężnicy wpływa z kolei na wzrost zawartości witamin z grupy B, wzmacnia perystaltykę jelit, wzmacnia system odpornościowy, a także zapobiega powstawaniu niektórych nowotworów [24]. U zwierząt doświadczalnych dodatki fruktooligosacharydów do diety obniżał również częstość występowania raka jelita grubego. Stwierdzono, że inulina hamuje produkcję sialomucyn o działaniu rakotwórczym, a pobudza syntezę sulfomucyn o działaniu antyrakotwórczym [38].

Brak możliwości rozkładu inuliny czy oligofruktozy do ich monosacharydów przez systemy enzymów endogennych powoduje, że nie zwiększają one poziomu insuliny we krwi, co jest szczególnie ważne dla diabetyków [21]. Doświadczenia ze szczurami wykazały znaczące obniżenie poziomu triglicerydów w surowicy krwi [10]. Zaobserwowano również, że oligofruktoza może wpływać na transport składników odżywczych do okrężnicy, w ten sposób redukując ich wartość kaloryczną [21]. Sama inulina jest produktem niskoenergetycznym [31]. Opierając się na badaniach z udziałem

łem ludzi przy wykorzystaniu izotopu  $^{14}\text{C}$  Hosoya (cyt. za [21]) określił wartość energetyczną fruktooligosacharydów jako 1,5 kcal/g. Według Roberfroid [30] wartość ta wynosiła 1,4 kcal/g.

Z kolei Rémésy i wsp. (cyt. za [21]) wykazali, że u szczurów karmionych dietą z 10% dodatkiem oligofruktozy następowała poprawa gospodarki azotowej w organizmie. Obserwowano 20 do 30% spadek mocznika we krwi w stosunku do grupy kontrolnej, co można wykorzystać w terapii chronicznych chorób nerek. Prowadzone są ponadto badania nad możliwością wykorzystania inuliny jako nośnika leków dostarczanych do okrężnicy, co dawałoby wiele korzyści terapeutycznych [41], gdyż po pierwsze choroby okrężnicy, takie jak zaparcia czy zespół drażliwego jelita mogą być leczone efektywniej, kiedy lek jest dostarczany miejscowo, dzięki czemu zmniejsza się wymaganą dawkę i ogranicza niepożądane skutki uboczne. Po drugie, opóźnienie absorpcji bywa pożądane z medycznego punktu widzenia np. w chorobach, które mają szczyt objawów wczesnym rankiem, jak nocna astma, angina, zapalenie stawów [41].

### **Biodostępność wapnia, magnezu, żelaza, miedzi i cynku**

W skład organizmu człowieka, oprócz tlenu, węgla, wodoru i azotu, stanowiących około 96% masy naszego ciała, wchodzi prawie 60 innych pierwiastków, z których większość zalicza się do składników mineralnych. Do niezbędnych dla człowieka zaliczamy m.in. makroelementy – wapń i magnez oraz mikroelementy – żelazo, miedź i cynk [3]. Składniki mineralne są w różnym stopniu uwalniane i wchłaniane oraz wykorzystywane przez organizm. Średnim stopniem wchłaniania (od 25–75% spożytej ilości) charakteryzuje się wapń, magnez, miedź i cynk, a małym (<25%) żelazo. Wielkość niedoborów może wahać się od niewielkich, niedających żadnych widocznych zmian funkcjonalnych w ustroju, do znacznych, manifestujących się poważnymi schorzeniami [3].

**Wapń** jest podstawowym składnikiem szkieletu, a także kofaktorem wielu enzymów, bierze udział w kurczliwości mięśni, przewodnictwie bodźców nerwowych, przepuszczalności błon komórkowych, krzepliwości krwi [3].

Biodostępność wyraża stopień, w jakim dany związek jest uwalniany w przewodzie pokarmowym z połączeń występujących w żywności, a następnie wchłaniany i rozprowadzany do tkanek i narządów. Na biodostępność wapnia z pożywienia wpływa wiele czynników. Do czynników obniżających jego przyswajalność zalicza się tzw. substancje antyodżywcze, jak kwas szczawiowy i fitynowy, natomiast do czynników podwyższających – niektóre aminokwasy i laktozę. Istotną rolę odgrywa też rodzaj produktu stanowiącego źródło wapnia, skład posiłku, stosunek wapnia do fosforu oraz ilość wapnia w diecie. Do endogennych czynników kontrolujących biodostępność wapnia należą wiek, płeć, ciąża i laktacja [3, 33]. De Luca [8] wykazał, że nawet u szczurów z niedoborem witaminy D absorpcja wapnia rośnie podczas ciąży i laktacji.

Wchłanianie wapnia maleje natomiast z wiekiem. Ma to związek między innymi ze zmniejszoną zdolnością organizmu do syntezy biologicznie aktywnej witaminy D, wykazującej stymulacyjne działanie w kierunku efektywnego przyswajania wapnia z przewodu pokarmowego [18].

Wiedza o biodostępności wapnia jest niezwykle ważna w związku z zapobieganiem przewlekłym chorobom związanym z niedoborem tego pierwiastka (cyt. za [21]). Niedobory wapnia mogą prowadzić do poważnych schorzeń układu kostnego. Ilość jonów wapnia we krwi musi być utrzymana na stałym poziomie, aby ustroj mógł prawidłowo funkcjonować, obniżenie stężenia tych jonów może być przyczyną tężyczki, która objawia się mrowieniem warg, języka, palców nóg, a także bólami mięśniowymi oraz skurczami mięśni. W przypadku zbyt małego spożycia wapnia z dietą następuje demineralizacja kości. U dzieci zaburzenia gospodarki wapniowo-fosforanowej mogą być przyczyną krzywicy, natomiast u dorosłych prowadzą do schorzenia zwanego osteomalacją (rozmiękanie kości). Niedobory wapnia w organizmie mogą mieć także wpływ na zwiększenie ryzyka osteoporozy [3, 19].

**Magnez** jest składnikiem kości i zębów oraz tkanek miękkich, bierze udział w przewodnictwie nerwowym, kurczliwości mięśni (antagonista wapnia), w syntezie kwasów nukleinowych i białek, w termoregulacji, metabolizmie lipidów, jest aktywatorem wielu enzymów [3].

Przyjmuje się, że wchłanianie magnezu wzmagają: witamina D, sód i białko zwierzęce. Zmniejszone wchłanianie powodują z kolei niektóre składniki odżywcze np. tłuszcz i glukoza oraz składniki antyodżywcze – fityniany, tanina, metale ciężkie. Skutki niedoboru tego pierwiastka to nadpobudliwość nerwowo-mięśniowa, skurcze mięśni, zmniejszenie apetytu, wymioty, biegunka, osłabienie [3].

**Żelazo** jest składnikiem hemoglobiny, mioglobiny i wielu enzymów, niezbędnym do transportu i magazynowania tlenu, transportu elektronów, desaturacji kwasów tłuszczowych, destrukcji nadtlenu wodoru, jodowania tyrozyny, biosyntezy prostaglandyn, katabolizmu tryptofanu, detoksykacji związków obcych, obrony immunologicznej organizmu [3].

W latach 70. i 80. XX w. przeprowadzono wiele badań z różnymi składnikami pożywienia i ich wpływem na biodostępność żelaza u szczurów, kurcząt i świń (cyt. za [11]).

Wchłanianie żelaza z pożywienia zależy od wielu czynników dotyczących samego organizmu – głównie od stopnia jego wysycenia, a także od rodzaju produktu, postaci chemicznej żelaza, interakcji pomiędzy składnikami diety. Do czynników podwyższających wchłanianie żelaza należą: niska zawartość tego składnika w organizmie, obecność w posiłku mięsa oraz produktów z wysoką zawartością witaminy C, kwas foliowy, aminokwasy (histrydina, L-cysteina), składniki mineralne (m.in. miedź).

Do czynników obniżających wchłanianie żelaza należą z kolei fityniany, wysoki poziom białka i tłuszczu w diecie, niektóre składniki mineralne (m.in. wapń i cynk) [3].

Niedostateczna absorpcja żelaza prowadzi do niedokrwistości niedobarwliwej (niedobór barwnika hemoglobiny). Charakterystycznymi objawami niedokrwistości są m.in. bladość skóry, zanik brodawek nitkowatych w centralnej części języka, łyzeczkowate lub prążkowane paznokcie. Niedobór żelaza w organizmie powoduje zaburzenia w utrzymaniu odpowiedniej temperatury ciała i odczuwaniu bodźców sensorycznych, obniżenie odporności organizmu, a u dzieci zaburzenia rozwoju psychomotorycznego i intelektualnego [3]. Anemia wywołana niedoborem żelaza występuje u około 1 miliarda ludzi na świecie i dotyczy głównie dzieci do lat 7 i kobiet w wieku rozrodczym [7, 13].

**Miedź** stanowi składnik wielu enzymów, jest niezbędna do mineralizacji kości, regulacji metabolizmu glukozy, transportu żelaza, syntezy hemu, utrzymania struktury keratyny, syntezy melaniny, regulacji cieplnej, krzepnięcia krwi [1].

Wydajność absorpcji miedzi jest relatywnie wysoka w porównaniu z innymi pierwiastkami, ale jest niższa u osobników starszych niż u młodych [11]. Przystawanie miedzi zależy od wielu czynników, na przykład od postaci chemicznej oraz składu diety. Wysoki poziom kwasu askorbinowego, siarczki, takie pierwiastki jak na przykład cynk, fityniany oraz niektóre produkty, jak surowe mięso, mogą obniżać przyswajalność miedzi [3]. Dieta bogata w wapń i fosfor powoduje zwiększenie wydalania miedzi z kałem [37]. Homeostaza miedzi jest utrzymywana przez zmiany wydajności absorpcji i wydzielanie miedzi z żółcią [11].

Niedobory miedzi stwierdza się u dzieci w wieku 12-15 lat oraz w grupie kobiet rodzących. Częstość występowania deficytu określa się na 41-81% [3]. Według Haschke i wsp. (cyt. za [3]), absorpcja miedzi jest ograniczana także u dzieci, którym podawano wysokie poziomy żelaza w diecie.

**Cynk** jest obecny we wszystkich organach, tkankach i płynach ustrojowych [32]. Jest on niezbędny do prawidłowego funkcjonowania ponad 200 enzymów, uczestniczy w syntezie białka, stabilności błon komórkowych, produkcji lub sekrecji hormonów, odczuwaniu smaku i zapachu, metabolizmie alkoholu, obronie immunologicznej organizmu [3].

Ogólnie przyjmuje się, że przyswajalność cynku, podobnie jak żelaza, jest wyższa z produktów zwierzęcych niż roślinnych. Niską przyswajalność z produktów roślinnych można w pewnym stopniu wytłumaczyć niekorzystnym wpływem fitynianów i hemiceluloz. Z kolei na wyższą przyswajalność z produktów zwierzęcych ma prawdopodobnie wpływ tworzenie się w świetle jelita połączeń cynku z niektórymi aminokwasami (cysteina, histydyna) i peptydami [3].

Małe ligandy o niskiej masie cząsteczkowej, jak aminokwasy czy inne kwasy organiczne, mają zdolność do zwiększania rozpuszczalności i ułatwiają absorpcję cynku,

podczas gdy inne substancje organiczne tworzą słabo rozpuszczalne kompleksy z cynkiem i ograniczają jego absorpcję [32].

Niedobory cynku zwykle występują łącznie z niedoborami innych składników odżywczych (najczęściej białka) i z niedoborem energii. Grupami o wysokim ryzyku wystąpienia niedoborów cynku są niemowlęta, dzieci i młodzież, gdyż wraz z wiekiem ryzyko wystąpienia niedoborów cynku maleje. U dzieci skutki niedoboru cynku powodują skórne zmiany łuszczycopodobne, biegunkę, utratę apetytu, opóźnienie wzrostu. U dorosłych następują zmiany rumieniowe na skórze, wypadanie włosów, zaburzenia odczuwania smaków, upośledzenie gojenia się ran, kurza ślepotą, atrofia grasicy i węzłów chłonnych [3].

### **Wpływ fruktanów na absorpcję wapnia, magnezu, żelaza miedzi i cynku**

Większość naukowych dowodów, potwierdzających wpływ oligosacharydów nie podlegających trawieniu na absorpcję składników mineralnych z diety, jest oparta o eksperymenty z udziałem zwierząt, w których wspomniane wyżej związki zwiększają biodostępność takich pierwiastków jak wapń, magnez, cynk czy żelazo [34].

#### ***Wapń i magnez***

Stymulujący wpływ fruktanów na absorpcję wapnia wykazano u szczurów z wyciętymi jajnikami [35], niedoborem magnezu [24], niedoborem żelaza [25] oraz z anemią po wycięciu żołądka [27].

W eksperymencie z udziałem szczurów płci żeńskiej, którym wycięto jajniki w wieku 5 miesięcy (cyt. za [34]) zwierzęta karmiono półsyntetyczną dietą zawierającą 0,5% wapnia i 0, 25, 50 lub 100 g oligofruktozy na kg diety albo dietą zawierającą 1,0% wapnia, bez lub z udziałem 50 g oligofruktozy na kg diety. W doświadczeniu trwającym 16 tygodni zaobserwowano, że wraz ze spożyciem oligofruktozy wzrastała także retencja wapnia po 4., 8. i 16. tygodniu, pomimo znaczącego wzrostu wydalania wapnia z moczem (cyt. za [34]).

Taguchi i wsp. (cyt. za [21]) badali ponadto wpływ fruktooligosacharydów (2,5 i 5% w diecie) na mineralną gęstość kości udowej i absorpcję wapnia i magnezu u samic szczura pozbawionych jajników. Okazało się, że fruktooligosacharydy znacznie podwyższają absorpcję wapnia i magnezu oraz zapobiegają utracie masy kostnej wywołanej niedoborem estrogenów.

W długoterminowych badaniach nad wpływem inuliny na gęstość mineralną kości całego ciała u dojrzewających szczurów płci męskiej, Lemort i wsp. (cyt. za [14]) zaobserwowali, że inulina mogłaby być bardziej skuteczna w zwiększaniu mineralizacji kości w sytuacji, kiedy ilość wapnia w diecie nie jest wystarczająca (40% zalecanego poboru spożycia dziennego dla szczurów) Dzieje się tak dlatego, ponieważ suple-

mentacja diety ubogo wapniowej inuliną daje ten sam efekt na gęstość kości jak wielokrotnianie zawartości wapnia w diecie. Wzrost absorpcji wapnia trwa tak długo jak długo spożywane są fruktany typu inuliny. Dane z udziałem ludzi odnośnie wpływu fruktanów na rozwój kości nie są jeszcze dostępne (cyt. za [14]).

Ohta i wsp. [22], w oparciu o doświadczenie na szczurach pozbawionych kątnicy, zaobserwowali różnicę pomiędzy mechanizmami absorpcji wapnia i magnezu. Dowiedli oni bowiem, że choć spożycie oligofruktozy poprawiło absorpcję wapnia i magnezu u zdrowych szczurów, to tylko absorpcja magnezu zwiększyła się u szczurów z wyciętą kątnicą [26]. Sugeruje to, że wpływ fermentacji w kątnicy jest szczególnie istotny w absorpcji wapnia, choć być może bardziej u szczurów niż u ludzi [12]. Istnienie różnych mechanizmów absorpcji wapnia i magnezu w okrężnicy sugerował także Karbach (cyt. za [26]). Warto wspomnieć, iż początkowo uważano, że głównym miejscem absorpcji tych składników mineralnych jest jelito cienkie. Jednakże w dalszych doniesieniach udowodniono, że wapń i magnez są absorbowane z jelita grubego, mianowicie z kątnicy i okrężnicy [23, 25]. Zdolność jelita grubego do absorpcji wapnia wykazali Nellans i Goldsmith (cyt. za [23]), natomiast Karbach i Feldmeier (cyt. za [23]) używając metody *in vitro* z  $^{45}\text{Ca}$  udowodnili, że kątnica to miejsce najwyższej absorpcji wapnia w jelicie szczurów.

Ohta i wsp. [23] badali zdolność jelita grubego do absorpcji wapnia i magnezu z ich trudno rozpuszczalnych w wodzie soli, a także starali się określić czy fruktooligosacharydy stymulują absorpcję tych minerałów w jelicie grubym szczurów *in vivo*. W tym celu wlewali do żołądka lub do kątnicy zwierząt wodne zawiesiny węglanu wapnia i tlenku magnezu z dodatkiem 5% fruktooligosacharydów lub bez nich. Okazało się, że węglan wapnia i tlenek magnezu są absorbowane w jelicie grubym i że właśnie w tej części przewodu pokarmowego ma miejsce podwyższający efekt fruktooligosacharydów na absorpcję magnezu. Nawiasem mówiąc, karmienie fruktooligosacharydami podnosiło absorpcję wapnia u szczurów po wlewie węglanu wapnia do żołądka, a nie obserwowano tego efektu u szczurów z wlewem do kątnicy. Są trzy możliwości wyjaśnienia tego zjawiska. Po pierwsze stymulujący efekt fruktooligosacharydów na absorpcję Ca pojawia się w jelicie cienkim w warunkach eksperymentu. Po drugie zdolność jelita grubego do absorpcji wapnia jest ograniczona, a więc i ograniczony jest efekt karmienia fruktooligosacharydami. Po trzecie wapń wlewany do żołądka może tworzyć kompleks wapń-fosfor-magnez w jelicie cienkim, a więc chemiczna forma tego pierwiastka po wprowadzeniu do kątnicy i żołądka różni się od siebie [23].

W celu wyjaśnienia mechanizmu działania inuliny na absorpcję wapnia postawiono kilka hipotez; otóż węglowodany, które nie ulegają trawieniu w jelicie cienkim, są substratami do tworzenia przez mikroflorę jelitową krótko łańcuchowych kwasów tłuszczowych w jelicie grubym. Rezultatem fermentacji jest obniżenie pH w świetle jelita, które podwyższa stężenie zjonizowanego wapnia i przyspiesza jego bierną dyfu-

zję (cyt. za [6]). Akumulacja fosforanu(V) wapnia w jelicie grubym i rozpuszczanie wapnia przez kwasy organiczne prawdopodobnie odgrywa kluczową rolę w zwiększaniu absorpcji tego pierwiastka (cyt. za [6]).

Absorpcja magnezu w jelicie była badana w mniejszym stopniu niż absorpcja wapnia. Wiadomo jednak, że karmienie szczurów dietą zawierającą oligofruktozę zwiększa znacząco retencję tego pierwiastka, niezależnie czy fruktan ten jest dodawany do diety kontrolnej, tj. z wymaganą ilością wszystkich składników [9], czy wprowadza się go do diety z deficytem magnezu [24], czy też podawany jest zwierzętom z niedoborem żelaza [25]. Magnez jest absorbowany przede wszystkim w końcowych odcinkach przewodu pokarmowego u ludzi, a stymulacja fermentacji bakteryjnej w jelicie przez węglowodany zwiększa wydajność tego procesu [6]. Okazało się, że podanie inuliny nie zwiększa znacząco absorpcji magnezu u ludzi. Dzieje się tak prawdopodobnie dlatego, że przewód pokarmowy szczura różni się od przewodu pokarmowego człowieka; odcinek kątnicy, nieobecny u ludzi, odgrywa bowiem istotną rolę w absorpcji wapnia i magnezu (cyt. za [6]). Możliwe też, że wykazanie wpływu inuliny na absorpcję magnezu wymaga dłuższego okresu adaptacji niż w przypadku wapnia [6].

Ohta i wsp. [24] przeprowadzili doświadczenie żywieniowe, podczas którego podawali szczurom dietę ubogą w magnez, a z wysoką zawartością wapnia i fosforu, w celu wywołania u tych zwierząt stanów zapalnych typowych w warunkach niedoboru magnezu w organizmie (uszne i twarzowe przekrwienia i krwotoki). U szczurów karmionych dietą zawierającą fruktooligosacharydy (1 bądź 5%) absorpcja magnezu była znacząco podwyższona w porównaniu z grupą kontrolną (fruktooligosacharydy 0%). U szczurów karmionych dietą zawierającą 5% fruktooligosacharydów i wystarczającą ilością magnezu, przekrwienia uszne i twarzowe oraz krwawienia uległy znacznemu zmniejszeniu [24]. Wynika z tego, że fruktooligosacharydy zwiększają absorpcję magnezu u szczurów karmionych dietą z niską zawartością magnezu i wysoką wapnia i fosforu. Bring i wsp. [2] wywnioskowali, że wzrost spożycia wapnia i fosforu obniża absorpcję magnezu, przez tworzenie nierozpuszczalnego kompleksu wapń-magnez-fosfor w świetle jelita. Schulz i wsp. [36] wykazali, że poziom kationów magnezu rósł dzięki obniżaniu pH w świetle jelita. Redukcja pH w jelicie przyczynia się do rozpuszczenia kompleksu wapń-magnez-fosfor i tym samym zwiększa się rozpuszczalność magnezu. Ponadto kwasy tłuszczowe stanowiące produkty fermentacji fruktooligosacharydów w kątnicy promują absorpcję magnezu z okrężnicy [24].

### ***Żelazo i cynk***

Niedobór żelaza jest najczęściej spowodowany nie tylko jego niedostatecznym spożyciem, ale także słabą jego biodostępnością w diecie. Tymczasem Ohta i wsp. [25] zaobserwowali, że szczury z anemią spowodowaną niedoborem żelaza szybciej



wracały do zdrowia spożywając karmę zawierającą fruktooligosacharydy. W tym eksperymencie, zarówno u szczurów z anemią, jak i u zwierząt zdrowych, fruktooligosacharydy powodowały wzrost absorpcji wapnia i magnezu (co sugeruje, że anemia nie wpływa wprost na absorpcję tych pierwiastków, przynajmniej w krótkim okresie czasu). W innym doświadczeniu Ohta i wsp. [27] zaobserwowali, że oligofruktoza zapobiega anemii po wycięciu żołądka oraz zwiększa absorpcję żelaza po pierwszym i drugim tygodniu karmienia. Zanotowano znaczący wzrost hematokrytu i stężenia hemoglobiny.

Retencja cynku była znacząco wyższa u szczurów karmionych dietą suplementowaną oligofruktozą, choć efekt był mniej wyraźny niż w przypadku żelaza, wapnia i w szczególności magnezu [9]. Żelazo i cynk są absorbowane głównie w jelicie cienkim na drodze transportu aktywnego i biernego, przy czym transport aktywny jest dominujący w sytuacji niskiego poziomu tych pierwiastków. Wyniki eksperymentów nie wykazywały znaczących efektów podania inuliny na ich absorpcję. Dopiero Delzenne i wsp. (cyt. za [6]) opisali znaczący wzrost absorpcji żelaza i cynku u szczurów karmionych inuliną (Raftiline) lub produktem jej hydrolizy (Raflitose). Także znaczący wzrost absorpcji wapnia, magnezu, cynku i żelaza u szczurów z dodatkiem 10% oligofruktozy w diecie obserwowali Delzenne i Roberfroid (cyt. za [21]). W tym doświadczeniu wzrosła również absorpcja miedzi, ale ten rezultat nie był statystycznie istotny.

Nieco inaczej przedstawiają się badania żywieniowe z udziałem ludzi. Van Dokkum i wsp. (cyt. za [21]), przy użyciu metody ze stabilnymi izotopami wapnia i żelaza, nie wykazali znaczących zmian w absorpcji tych pierwiastków u ludzi po przyjęciu inuliny czy oligofruktozy. Coudray i wsp. [6] zaobserwowali natomiast, że inulina (18 g) podwyższa absorpcję wapnia, a nie wpływa na absorpcję magnezu, żelaza i cynku. Van den Heuvel i wsp. [40] wykazali, że spożycie oligofruktozy i inuliny nie wpływa na absorpcję wapnia i żelaza u ludzi dorosłych. W drugim eksperymencie ci sami autorzy [39] porównywali wpływ oligofruktozy i sacharozy na absorpcję wapnia u zdrowych 14-16-letnich chłopców, którzy spożywali sok pomarańczowy suplementowany 5 g oligofruktozy (Raftilose P-95) lub sacharozy. Doświadczenie było prowadzone w dwóch 9-dniowych okresach oddzielonych 19-dniowym okresem wypłukiwania. Pomiary były oparte na oznaczeniu ilości izotopów wapnia w próbkach moczu w czasie 36-godzinne go okresu. Okazało się, że u badanych chłopców nastąpił wzrost absorpcji wapnia po podaniu oligofruktozy [39]. Najnowsze badania Abramsa (cyt. za [14]), z użyciem stabilnych izotopów, potwierdziły u 29 dziewcząt 20% wzrost absorpcji wapnia po spożyciu fruktanów z cykorii w ilości 8 g na dzień.

Sprzeczne wyniki odnośnie wpływu fruktanów na absorpcję składników mineralnych u szczurów i u ludzi mogą być spowodowane źle zaprojektowanymi eksperymentami. Uzyskane rezultaty zależą bowiem m.in. od zawartości wapnia w diecie, dawki fruktanu, wieku badanego organizmu [34]. Trzeba również zaznaczyć, że szczur jest

gryzoniem kałożernym, a więc występują ograniczenia w użyciu tego modelu i ekstrapolacji uzyskanych wyników na ludzi. Zapobieganie kałożerności u zwierząt karmionych oligofruktozą nie zmienia co prawda pH w kątnicy ani pozytywnego wpływu na retencję wapnia i magnezu, jednakże wydalanie octanu i propionianu z kałem jest ograniczone przy wzroście absorpcji magnezu [22].

## Podsumowanie

Wnioski dotyczące mechanizmów, które powodują poprawę absorpcji składników mineralnych po spożyciu inuliny i oligofruktozy są następujące:

- 1) dzięki obniżeniu pH w świetle jelita wzrasta stężenie składników mineralnych w formie jonowej oraz przyspieszona zostaje ich dyfuzja,
- 2) z powstającymi w procesie fermentacji krótko łańcuchowymi kwasami tłuszczowymi tworzą się łatwo rozpuszczalne sole,
- 3) w rezultacie obecności niestrawionych węglowodanów następuje przerost błony śluzowej jelita grubego, przez co zwiększa się jego zdolność do absorpcji składników mineralnych.

Stopień ważności tych mechanizmów może się różnić w zależności od typu i ilości niestrawialnych węglowodanów oraz składników mineralnych w diecie.

Przyszłość fruktanów wydaje się być obiecująca. Opracowano metody komercyjnej produkcji fruktooligosacharydów, co pozwoli obniżyć cenę i zwiększyć ich zastosowanie jako dodatku wzbogacającego różne produkty spożywcze.

## Literatura

- [1] Bojarski K., Pasternak K., Jarzabek K., Zajaczkowski K.: Cynk i miedź w doświadczalnym ostrym zapaleniu trzustki, *Biul. Magnezol.*, **1**, 2000, 5-11.
- [2] Brink E.J., Beynen A.C., Dekker P.R., Beresteijn E.C.H.V., Meer R.V.D: Interaction of calcium and phosphate decreases ileal magnesium solubility and apparent magnesium absorption in rats, *J. Nutr.*, **122**, 1992, 580-586.
- [3] Brzozowska A. (red.): Składniki mineralne w żywieniu człowieka. Wyd. AR, Poznań, 1999.
- [4] Cieślik E., Filipiak – Florkiewicz A.: Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) – Możliwości wykorzystywania do produkcji żywności funkcjonalnej, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, **1 (22)**, 2000, 73-81.
- [5] Cieślik E., Prostack A., Pisulewski P.M.: Funkcjonalne właściwości fruktanów, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, **1 (26)**, 2001, 5-12.
- [6] Coudray C., Bellanger J., Castiglia-Delavaud C., Rèmèsy C., Vermorel M., Rayssiguier Y.: Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men, *Eur. J. Clin. Nutr.*, **51**, 1997, 375-380.
- [7] Czarnocińska J., Krejpcio Z., Dolata M., Gawęcki J., Wójciak R.W., Filipowski P., Wiśniewska J.: Assessment of iron bioavailability from iron lactate depending on the level of dietary iron, *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, **3 (9)**, 2000, 55-59.

- [8] De Luca H.F.: Some new concepts emanating from a study of the metabolism and function of vitamin D, *Nutr. Rev.* **38**, 1980, 169-172.
- [9] Delzenne N., Aertssens J., Verplaetse H., Roccaro M., Roberfroid M.: Effect of fermentable fructo-oligosaccharides on mineral, nitrogen and energy digestive balance in the rat. *Life Sci.*, **57**, 1995, 1579-1587.
- [10] Delzenne N.M., Kok N.N.: Biochemical basis of oligofructose – induced hypolipidemia in animal models. *J. Nutr.*, **129**, 3, 1999, 1467S.
- [11] Fairweather-Tait S.J.: Bioavailability of copper. *Eur. J. Clin. Nutr.*, **51**, Supl., 1997, 24-26.
- [12] Greger J.L.: Nondigestible carbohydrates and mineral bioavailability. W: Nutritional and health benefits of inulin and oligofructose, *J. Nutr.*, **129**, 1999, 1434-1435.
- [13] Hurrell R.F.: Bioavailability of iron. *Eur. J. Clin. Nutr.*, **51**, Supl., 1997, 4-8.
- [14] Inulin and oligofructose stimulate calcium absorption. *Act. Food Sci. Monitor*, 2000, **2**, 3-4.
- [15] Kasperowicz A.: Fruktany. Część I., *Postępy Nauk Rolniczych*, 1995, **1**, 49-57.
- [16] Kozłowska H., Troszyńska A.: Rola naturalnych substancji nieodżywczych pochodzenia roślinnego jako składników żywności funkcjonalnej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1999, **4** (21), Supl., 63-74.
- [17] Król B., Klewicki R.: Charakterystyka składu wybranych koncentratów oligosacharydów o właściwościach funkcjonalnych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, **4** (21), Supl., 1999, 214-222.
- [18] Lorenz R., Kłocińska K.: Znaczenie i rola suplementacji wapniem w zapobieganiu i leczeniu osteoporozy. *Żyw. Człow. Metab.*, **26**, Supl., 1999, 30-39.
- [19] New S.A.: Wpływ żywienia na stan kości ze szczególnym uwzględnieniem wapnia i fosforu. *Żywność, Żywnienie, Prawo a Zdrowie*, **3**, 2000, 305-310.
- [20] Nutritional and Health Benefits of Inulin and Oligofructose. Proceedings of a Conference, Bethesda, 1998.
- [21] Nutritional properties, inulin and oligofructose, ORAFIT, 2000, 3-24.
- [22] Ohta A., Baba S., Ohtsuki M., Taguchi A., Adachi T.: Prevention of coprophagy modifies magnesium absorption in rats fed fructooligosaccharides, *Br. J. Nutr.*, **75**, 1996, 775-784.
- [23] Ohta A., Baba S., Ohtsuki M., Takizawa T., Adachi T., Hara H.: In vivo absorption of calcium carbonate and magnesium oxide from the large intestine in rats, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **43**, 1997, 35-46.
- [24] Ohta A., Baba S., Takizawa T., Adachi T.: Effects of fructooligosaccharides on the absorption of magnesium in the magnesium - deficient rat model, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **40**, 1994, 171-180.
- [25] Ohta A., Ohtsuki M., Baba S., Takizawa T., Adachi T., Kimura S.: Effects of fructooligosaccharides on the absorption of iron, calcium and magnesium in iron-deficient anemic rats, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **41**, 1995, 281-291.
- [26] Ohta A., Ohtsuki M., Takizawa T., Inaba H., Adachi T., Kimura S.: Effects of fructooligosaccharides on the absorption of magnesium and calcium by cecectomized rats, *Internat. J. Vit. Nutr. Res.*, **64**, 1994, 316-323.
- [27] Ohta A., Ohtsuki M., Uehara M. i in.: Dietary fructooligosaccharides prevent postgastrectomy anemia and osteopenia in rats, *J. Nutr.*, **128**, 1998, 485-490.
- [28] Rao A.V.: Dose – response effects of inulin and oligofructose on intestinal bifidogenesis effects, *J. Nutr.*, **129** (3), 1999, 1442S.
- [29] Reading S., Aramendi S., Gibson G., Mc Cartney A.: An in vitro investigation of the minimum fructo – oligosaccharide dose a prebiotic effect. Functional properties of non – digestible carbohydrates, INRA, Nantes, 1998, 182.
- [30] Roberfroid M.B.: Caloric value of inulin and oligofructose, *J. Nutr.*, **129** (3), 1999, 1436S.

- [31] Sakun U.M., Sviridov V.F., Grebenuk V.V., Grinrenko I.G., Groushetsky R.I., Guliy I.S., Bobrovnik L.D.: Inulin as a prophylactic in the treatment of heart diseases: Proceedings of the Seventh Seminar on Inulin, Leuven, Belgium, 1998, 162-165.
- [32] Sandström B.: Bioavailability of zinc. *Eur. J. Clin. Nutr.*, **51**, Supl., 1997, 4-8.
- [33] Schaafsma G.: Bioavailability of calcium and magnesium. *Eur. J. Clin. Nutr.*, **51**, Supl., 1997, 13-16.
- [34] Scholz-Ahrens K.E., Schaafsma G., van den Heuvel E.G.H.M., Schrezenmeir J.: Effects of prebiotics on mineral metabolism, *Am. J. Clin. Nutr.*, **73**, Supl., 2001, 459-464S.
- [35] Scholz-Ahrens K.E., van Loo J., Schrezenmeir J.: Effect of fructose on bone mineralization in ovariectomized rats is affected by dietary calcium, *Am. J. Clin. Nutr.*, **73**, 2001, 498S (abstr.).
- [36] Schulz A.G.M., Amelvoort J.M.M., Beynen A.C.: Dietary native resistant starch but not retrograded resistant starch raises magnesium and calcium absorption in rats, *J. Nutr.*, **123**, 1993, 1724-1731.
- [37] Snedecker S.M., Smith S.A., Greger J.L.: Effect of dietary calcium and phosphorus levels on the utilisation of iron, copper and zinc by adult males, *J. Nutr.*, **112**, 1982, 136-143.
- [38] Tomasik P.: Prebiotyki i probiotyki. *Zdrowa Żywność, Zdrowy Styl Życia, Polskie Towarzystwo Promocji Zdrowego Życia i Żywności*, **1**, 2001.
- [39] Van den Heuvel E., Muys T., van Dokkum W., Schaafsma G.: Oligofructose stimulates calcium absorption in adolescents, *Am. J. Clin. Nutr.*, **69**, 1999, 544-548.
- [40] Van den Heuvel E., Schaafsma G., Muys T., van Dokkum W.: Nondigestible oligosaccharides do not interfere with calcium and nonheme – iron absorption in young healthy men, stimulates calcium absorption in adolescents, *Am. J. Clin. Nutr.*, **67**, 1998, 445-451.
- [41] Vervoort L., Van den Mooter G., Augustijns P., Vinckier I., Moldenaers P., Kinget R.: Development of inulin hydrogels as carriers for colonic drug targeting. Proceedings of the Seventh Seminar on Inulin, Leuven, Belgium, 1998, 138-146.
- [42] Vijn I., Van Dijken A., Lüscher M.L., Bos A., Smeets E., Wiesbeek P., Wiemken A., Smeekens S.: Synthesis of defined fructan molecules. Proceedings of the Seventh Seminar on Inulin, Leuven, Belgium, 1998, 126-131.

## THE EFFECT OF FRUCTANS ON THE BIOAVAILABILITY OF SELECTED MINERALS

### S u m m a r y

The present paper reviews Polish and foreign papers focusing on bioavailability of calcium, magnesium, iron, zinc and copper and the effect of fructans on their absorption from diet.

There are many evidences suggesting that fructans, low-molecular-weight non-digestible carbohydrates which are naturally occurring dietary constituents may improve the quality of life and increase disease resistance in both humans and animals. The potential health benefits of these compounds are: prebiotic effect and better resistance to pathogens, reduction in blood lipids and the risk for coronary heart disease, antitumor properties and immune stimulation. The stimulatory effect of fructooligosaccharides (FOS) on the bioavailability of selected elements has been explained by fermentation of these sugars in the large intestine, which leads production of short-chain fatty acids, reduction of luminal pH and induction of epithelial cells proliferation, which results in the increase of some minerals absorption. ✖