

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Výzkumné centrum DRIFT-FOOD



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Mléčné výrobky s přidanou hodnotou

Bakalářská práce

Bermet Idinova

Výživa a potraviny

Vedoucí práce: Ing. Iveta Klojdová, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Mléčné výrobky s přidanou hodnotou" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 28.4.2024

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Ivetě Klojdové, Ph.D. za její cenné rady, připomínky a trpělivost během vedení práce.

Mléčné výrobky s přidanou hodnotou

Souhrn

Rostoucí trend zdravého stravování otevírá dveře pro obohacování potravin a produkty s přidanou hodnotou, a to včetně mléka a mléčných výrobků. Mléko a mléčné výrobky jsou navíc podstatnou součástí lidské stravy a vzhledem ke svým výjimečným fyzikálním a chemickým vlastnostem představují zvláště atraktivní komoditu pro obohacování dalšími mikroživinami, mimo jiné zejména vitaminy a minerálními látkami. Mléčné výrobky tak hrají důležitou roli v boji proti deficienci mikronutrientů, a to zejména v rozvojových zemích, kde jsou jedním z nejčastěji konzumovaných druhů potravin. Poprvé se mléčné výrobky začaly fortifikovat vitaminem D k zamezení roustoucích případů rachhitidy v tehdejší době. Dnes dochází ke značnému růstu a rozvoji v oblasti fortifikace pro mléčné výrobky. Tato práce je zaměřena na konkrétní mikroživiny, které se do mléčných výrobků nejčastěji přidávají. Mezi ně patří vitaminy (hlavně vitamin D, A, C a vitaminy skupiny B), minerální látky (zejména železo, zinek a vápník), probiotika a prebiotika, mastné kyseliny a rostlinné látky, jako ovocné ochucující složky nebo polyfenolické sloučeniny. V této práci jsou popsány nejčastější fortifikační formy těchto nutrientů a jejich uplatnění v praxi, používané technologie a dále legislativní předpisy týkající se fortifikace a aditiv.

Klíčová slova: mléčné výrobky, funkční potraviny, přidaná hodnota, fortifikované potraviny, obohacené potraviny

Dairy products for people with specific needs

Summary

With the growing popularity of health-conscious food products, the field of food fortification and foods with added value has garnered significant attention. Furthermore, as milk and its products are an essential part of the human diet and because of their unique physical and chemical properties, they present an especially attractive commodity to fortify with additional micronutrients, most notably, but not limited to, vitamins and minerals. Another point of focus is the role milk products could and do play in the global fight against micronutrient deficiencies, particularly in developing countries. As they represent one of the most consumed food groups around the globe, their significance is undeniable. Milk products were first fortified with vitamin D as a reaction to growing case of rickets. Since then, the field of dairy product fortification has experienced significant expansion. This thesis will focus on specific micronutrients (vitamins, minerals, probiotics and prebiotics, fatty acids and botanicals) that are being added into milk and milk products, their most common fortification forms and real-world applications, technologies used and, lastly, legislation pertaining fortification and additives.

Keywords: dairy products, added value, fortified foods, fortification, functional foods

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce	9
3	Literární rešerše	10
3.1	Obohacené (fortifikované) potraviny	10
3.2	Mléko a mléčné výrobky	10
3.2.1	Základní složky mléka.....	11
3.2.1.1	Mléčný tuk	11
3.2.1.2	Mléčné bílkoviny	11
3.2.1.3	Laktosa.....	12
3.2.1.4	Minerální látky.....	12
3.2.1.5	Vitaminy	13
3.2.1.6	Enzymy	14
3.2.2	Mléčné výrobky a jejich výroba	14
3.2.2.1	Mléko	14
3.2.2.2	Fermentované mléčné výrobky.....	14
3.2.2.3	Máslo	15
3.2.2.4	Sýry	15
3.2.2.5	Sušené mléko a kojenecká a dětská výživa.....	15
3.3	Přidané složky a bioaktivní látky	15
3.3.1	Minerální látky	16
3.3.1.1	Železo.....	16
3.3.1.2	Zinek	18
3.3.1.3	Vápník.....	19
3.3.2	Vitaminy	21
3.3.2.1	Vitamin A (retinol)	21
3.3.2.2	Vitamin D	23
3.3.2.3	Vitaminy skupiny B	24
3.3.3	Probiotika	26
3.3.4	Prebiotika.....	29
3.3.5	Polynenasycené mastné kyseliny (PUFA)	30
3.3.5.1	Konjugovaná kyselina linolová (CLA)	31
3.3.5.2	Omega-3 mastné kyseliny.....	31
3.3.6	Bioaktivní peptidy	32
3.3.7	Rostliny, ovoce a jejich extrakty	32

3.3.7.1	Ovocné a zeleninové preparáty	33
3.3.7.2	Rostlinné steroly	33
3.3.7.3	Polyfenoly	34
3.4	Technologické zpracování	34
3.4.1	Zpracování	35
3.4.1.2	Vitaminy	35
3.4.1.3	Minerální látky	36
3.4.1.4	Mléko	37
3.4.1.5	Sušené mléko	37
3.4.1.6	Kojenecká výživa	37
3.4.1.7	Fermentované mléčné výrobky	38
3.4.1.8	Zmrzlina	38
3.4.2	Jakostní a bezpečnostní požadavky	38
3.5	Druhy fortifikace	38
3.5.1	Povinná fortifikace	39
3.5.2	Dobrovolná fortifikace	39
3.5.3	Hromadná fortifikace	40
3.5.4	Cílená fortifikace	40
3.6	Legislativa	40
3.6.1	Národní potravinové zákony a fortifikace	40
3.6.2	Evropská unie	40
4	Závěr	42
5	Literatura	43
6	Seznam použitých zkratk a symbolů	53

1 Úvod

V dnešní době se zdravé stravování stává stále důležitějším tématem. Lidé si čím dál více uvědomují vliv stravy na své zdraví a hledají potraviny, které mají vyšší nutriční hodnotu. Tento trend otevírá dveře obohacným potravinám a produktům s přidanou hodnotou.

Mléko a mléčné výrobky hrají v tomto ohledu klíčovou roli. Jsou významnou součástí lidské stravy a díky svým unikátním fyzikálním a chemickým vlastnostem představují ideální prostředek pro obohacování o mikroživiny, jako jsou vitaminy a minerální látky. Obohacení mléka začalo přidáním vitamínu D v boji proti vysokému výskytu křivice na začátku 20. století. Dnes může fortifikace mléčných výrobků přispět k omezení rizika vývoje a vzniku dalších deficiencí mikronutrientů, která jsou stále častějším problémem, hlavně v rozvojových zemích, kde jsou mléčné výrobky důležitým zdrojem živin.

Tato bakalářská práce se zaměří na mléko a mléčné výrobky s přidanou hodnotou. Prozkoumá specifické mikroživiny (vitaminy, minerály, probiotika, prebiotika, mastné kyseliny a rostlinné látky), které se do těchto produktů běžně přidávají. Zaměří se na jejich nejčastější fortifikační formy a praktické aplikace, včetně používaných technologií. Dále se ještě zmíní legislativní předpisy regulující fortifikaci a aditiva v potravinách.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je zhodnocení současného trendu přípravy výrobků s přidanou hodnotou v oblasti mléčných výrobků.

3 Literární rešerše

3.1 Obohacené (fortifikované) potraviny

Obohacení neboli fortifikace potravin je proces přidání živin nebo nenutričních bioaktivních látek do jedlých produktů (Dwyer et al. 2015). Většinou se fortifikace týká vitaminů a minerálů, ale zahrnuje i jiné látky. Je to uznávaný, bezpečný a nákladově efektivní způsob pro zlepšení stravy po nutriční stránce a pro prevenci a kontrolu nedostatků mikroživin (Olson et al., 2021). Ačkoli není kategorie obohacených potravin v legislativě výslovně definovaná, je stanoveno, které obohacující látky mohou být do potravin přidávány a v jakých formách. Dále jsou i určeny produkty, u kterých je zakázáno takové obohacení, jako jsou například ovoce, zelenina, maso a nápoje obsahující více než 1,2 % obj. alkoholu (SZPI 2022).

Důležité je také zdůraznit rozdíl mezi fortifikovanými potravinami a doplňky stravy. Doplňky stravy obsahují určitý výživový faktor pro zvláštní dietetické účely. Jsou nejčastěji ve formě tablet, kapslí, prášků, nebo sirupu. U těchto výrobků je nutné dodržovat množství příjmu podle pokynů výrobce, jelikož hrozí zdravotní riziko předávkování. Fortifikované potraviny nemají omezené množství pro konzumaci a vzhledově se neliší od svých nefortifikovaných ekvivalentů (Ministerstvo zemědělství 2024).

Fortifikaci lze použít k nápravě nebo prevenci rozšířených nedostatků v příjmu živin a souvisejících nedostatků. Využívají se k vyrovnání celkového nutričního profilu stravy, navrácení živin ztracených při zpracování nebo k oslovení spotřebitelů, kteří chtějí obohatit svou stravu (Dwyer et al. 2015). Požadavkem jejich využití k nápravě živinových nedostatků je samozřejmě přiměřená konzumace fortifikované potraviny. Taková strategie je většinou součástí státních programů se zaměřením na určitou cílovou skupinou obyvatel (děti, těhotné ženy, senioři apod.) (Allen et al. 2006). Je ale také důležité vybrat vhodnou živinu, metodu zpracování a potravinový prostředek k zajištění stability a bioaktivní dostupnosti daného nutrientu v dané potravine (Mannar, Wesley 2023). Tato práce je zaměřena na mléčné výrobky z kravského mléka obohacené o nutriční látky.

3.2 Mléko a mléčné výrobky

Mléko je sekret mléčné žlázy u savců. Je to bílá, výživná tekutina produkovaná samicemi pro výživu svých mláďat. Po staletí se využívá v lidské výživě, a i do dnes jsou mléko a mléčné výrobky řazeny mezi nejvýznamnější potravinové skupiny v každodenní stravě (Harding 1995). Díky své relativně nízké ceně a světovému rozšíření, je velmi dostupným, a jak je znázorněno v Tabulce 1, i bohatým zdrojem energie, kvalitních proteinů, vápníku a živin (Turck 2013).

Tabulka 1: Kravské mléko, jeho nutriční hodnoty a ceny. Upraveno podle Scholz-Ahrens et al. (2020).

Produkt	Živiny na 100 g					Cena
	Energie [kJ (kcal)]	Tuky (g)	Bílkoviny (g)	Sacharidy (g)	Vápník (mg)	Euro (/l)
Plnotučné mléko	272 (66)	3,6	3,3	4,7	120	1,09
Polotučné mléko	202 (48)	1,6	3,4	4,8	118	0,99

Složení mléka se u různých savců značně liší. Pro lidskou výživu je nejdůležitější kravské mléko, které, stejně jako lidské, obsahuje nízký podíl tuku – okolo 4 % (Harding 1995). I když se běžně používají názvy "mléko" i pro rostlinné alternativy jako sójové či mandlové nápoje, korektní terminologie vyhrazuje termín "mléko" výhradně mléčnému sekretu pocházejícímu ze zdravých zvířat. Toto mléko musí pocházet z období mimo 15 dní před a 5 dní po porodu a musí být zbaveno kolostra (Pereira 2014). Kravské mléko tvoří celosvětově asi 85 % produkce mléka určeného pro lidskou spotřebu a průmyslové zpracování. Zbylou část tvoří mléko buvolí, kozí a ovčí, avšak pouze v menším poměru (Kadlec et al. 2009).

3.2.1 Základní složky mléka

Chemické složení kravského mléka je tvořeno průměrně z 87 % vody (Pereira 2014). Sušina se skládá ze 4 % tuku, z 3,2 % bílkovin, z toho 2,6 % představuje kasein a 0,6 % sérové bílkoviny, ze 4,6 % laktozy a z 0,7 % popelovin (Kadlec et al. 2009). Přesné hodnoty se potom značně liší na základě plemena, stravy, fáze laktace a dalších faktorů, přičemž největší odchylky se pozorují v obsahu tuku (Jensen, Ferris, Lammi-Keefe 1991).

3.2.1.1 Mléčný tuk

Mléčný tuk je v mléce dispergován ve formě emulze v mléčné plazmě. Strukturu mléčných lipidů tvoří tukové kuličky, které v jádře obsahují nepolární triacylglyceroly, estery retinolu a jiných látek. Membrána kuličky obsahuje povrchově aktivní látky a skládá se hlavně z fosfolipidů, cholesterolu a membránových lipoproteinů, které okolo tukové částice tvoří hydratační obal a zabraňují shlukování mléčného tuku (Argov et al., 2008, Kadlec et al., 2009).

Z technologického hlediska se mezi nejvýznamnější vlastnosti mléčného tuku řadí jeho relativní měrná hmotnost, zastoupení mastných kyselin, krystalizace, obsah bakteriálních lipáz a autooxidace. Všechny tyto vlastnosti ovlivňují tepelnou a krystalickou stabilitu tuku v mléce, vznik sensorických vad, srávný sled procesů při zpracování apod. (Kadlec et al. 2009).

3.2.1.2 Mléčné bílkoviny

Mléko se považuje za významný zdroj bílkovin v lidské stravě, neboť dodává přibližně 32 g bílkovin/l. (Pereira 2014) Tyto bílkoviny se dělí na dvě skupiny: kasein a sérové (syrovátkové) bílkoviny. Z celkových mléčných bílkovin tvoří kasein přibližně 80 %. Obě frakce jsou klasifikovány jako vysoce kvalitní proteiny z pohledu na lidskou stravu a její požadavky na aminokyseliny, stravitelnost a biologická dostupnost. (Pereira 2014)

Kasein je fosfoprotein složený z několika bílkovinných frakcí. Obsahuje fosfátové skupiny vázané na aminokyseliny, což dodává kaseinu schopnost vytvářet gelovitou strukturu a tvořit micely. Tento aspekt je velmi důležitou vlastností v technologii zpracování mléka. Je dále charakterizován svou relativní nerozpustností ve vodě, čímž způsobuje jeho pomalé uvolňování aminokyselin během trávení (Kadlec et al. 2009).

Sérové bílkoviny obsahují dva hlavní typy bílkovin – laktalbumin a laktoglobulin. Dále se mezi nimi zahrnují imunoglobuliny, sérový albumin, laktoferin a transferin. Na rozdíl od kaseinu jsou syrovátkové bílkoviny termolabilní a jsou dobře rozpustné ve vodě (Kadlec et al. 2009).

3.2.1.3 Laktosa

Co se týče sacharidového profilu mléka tvoří laktosa (tzv. mléčný cukr) asi třetinu jeho veškerého energetického obsahu (Griffiths 2010). Laktosa je disacharid složený z D-glukosy a D-galaktosy spojené β -glykosidovou vazbou. Kromě své nutriční funkce, slouží také jako substrát pro růst mnoha bakterií, což je klíčovým procesem v technologii zpracování sýrů a fermentovaných mléčných výrobků. Je dobře rozpustná ve vodě a díky své redukující schopnosti se účastí Maillardovy reakce – reakce s volnými aminokyselinami při tepelném ošetření, při které dochází ke změně chuti a zhnědnutí mléka (Kadlec et al. 2009).

3.2.1.4 Minerální látky

Mléko obsahuje jak makroelementy (Ca, Mg, Na, K, P a Cl), tak mikroelementy (Fe, Cu, Zn a Se), které přispívají k jeho vynikajícímu nutričnímu profilu. Průměrný obsah minerálních látek se pohybuje v rozmezí 0,5–1,0 %, avšak jeho specifické složení a koncentrace závisí na plemeni, fázi laktace a stravě (Gaucheron 2011). Přesný obsah jednotlivých minerálů je uvedeno v Tabulce 2.

Tabulka 2: Koncentrace minerálů ve vybraných mléčných produktech v mg/100 g. Upraveno podle Gaucheron (2011).

Produkt	Ca	P	Mg	Na	K	Fe	Zn	Cu
Plnotučné	119	93	13	49	151	0,05	0,4	0,01
Nízkotučné	122	95	14	50	154	0,05	0,4	0,008
Odtučněné	124	101	11	51	166	0,04	0,4	0,011
Jogurt	121	95	12	46	155	0,05	0,6	0,0009
Eidam	731	535	30	965	188	0,44	3,7	0,036
Mozzarella	517	371	19	373	67	0,18	2,2	0,02

3.2.1.4.1 Makroelementy

Primární a nejdůležitější minerální látkou v mléce je vápník, což platí jak z nutričního, tak z technologického hlediska. Mléko a mléčné výrobky jsou jedním z nejlepších zdrojů tohoto makroelementu v lidské stravě, díky jeho vysokému obsahu a dobré vstřebatelnosti (Titchenal, Dobbs 2007). Z technologického ohledu je vápník důležitý kvůli své roli při stabilizaci kaseinových micel, což ovlivňuje stabilitu a vlastnosti sýřeniny během srážení při výrobě sýrů (Kadlec et al. 2009; Lewis 2011).

Průměrná koncentrace vápníku v mléce činí 1200 mg/l, přičemž 30 % je přítomno v rozpuštěné podobě v mléčném séru. Většina vápníku je však v nerozpustné formě jako součást fosforečnanu vápenatého v rámci kaseinových micel (Kadlec et al. 2009).

Mléko však není jen významným zdrojem vápníku, ale také fosforu, který se vyskytuje v organické i anorganické formě. Organický fosfát je vázán na organické molekuly jako jsou proteiny, fosfolipidy, organické kyseliny a nukleotidy, které jsou hlavně obsaženy v tukových kuličkách. Anorganický fosfor se nachází ve formě ionizovaného fosfátu v mléčném séru. Průměrná koncentrace fosforu v mléce činí přibližně 950 mg/l (Gaucheron 2011).

I přes relativně nízkou koncentraci Mg lze mléčné výrobky řadit mezi jeho zdroje. Jeden litr mléka obsahuje přibližně 120 mg hořčíku (Gaucheron 2011), což odpovídá zhruba třetině denního doporučeného příjmu (EFSA 2015). Průměrný obsah zinku je 3–4 mg a selenu 30 µg na 1 litr mléka (Gaucheron 2011).

3.2.1.4.2 Mikroelementy

Kravné mléko a mléčné výrobky jsou považovány za velmi chudé zdroje Fe, přičemž 600 ml mléka poskytuje přibližně jen 0,3 mg. To nabízí příležitost pro fortifikaci, kde se v mnoha studiích hodnotí účinnost různých fortifikantů železa (Gaucheron 2011).

Mléčné výrobky jsou však považovány za dobré zdroje zinku a selenu. Vyskytují se většinou v odstředěném mléce, jelikož se nenachází v mléčném tuku (Gaucheron 2011).

3.2.1.5 Vitaminy

V mléce se vyskytují vitaminy jak hydrofobní, tak hydrofilní. Hydrofobní vitaminy jsou ty, které jsou rozpustné v tucích a najdeme je zejména v mléčném tuku. Proto se často nacházejí ve větším množství v produktech jako je plnotučné mléko, máslo a sýry. Mezi ně patří vitaminy A, D, E a K. Naopak hydrofilní vitaminy jsou rozpustné ve vodě a nachází se především v odstředěném mléce. Do této skupiny spadá vitamin C a vitaminy skupiny B, zejména B2 (riboflavin), B9 (kyselina pantothenová) a B12 (kobalamin) (Scholz-Ahrens, Ahrens, Barth 2020; Graulet 2014). Jak je uvedeno v Tabulce 3, koncentrace těchto vitaminů jsou variabilní v závislosti na konkrétní vitamin a sledovaný mléčný produkt (Gaucheron 2011).

Tabulka 3: Koncentrace vitaminů A, D, E a C a karotenu v µg/100 g vybraných produktů. Upraveno podle Fox et al. (2015).

Produkt	Retinol	Karoten	Vitamin D	Vitamin E	Vitamin C
Pasterizované odtučněné mléko	1	SM	SM	SM	1
Pasterizované plnotučné mléko	52	21	0,03	0,09	1
Cheddar	325	225	0,26	0,53	SM
Eidam	175	150	(0,19)	0,48	SM
Bílý plnotučný jogurt	28	21	0,04	0,05	1

SM = stopové množství, () = příbližná hodnota

3.2.1.6 Enzymy

Mléko obsahuje přibližně 60 endogenních enzymů, známých také jako nativní enzymy, které pocházejí z mléčné žlázy. Mnohé z nich hrají významnou roli v technologických aspektech týkajících se stability, kvality a procesů výroby mléka a mléčných produktů (Kadlec et al. 2009; Park, Haenlein 2013). Tyto molekuly mohou být využity jako indikátory mastitidy nebo předchozího tepelného zpracování a mohou plnit i ochranné a trávicí funkce (Fox, Kelly 2003). Nicméně je také známo, že mohou přispívat k vzniku senzorických vad nebo změn technologických vlastností. Z tohoto hlediska jsou nejrizikovější bakteriální enzymy, které se mohou vyskytovat jako důsledek kontaminace (Kadlec et al. 2009). Mezi antimikrobiální enzymy v mléce patří např. lysozym a laktoperoxidáza, která je zároveň nejrozšířenějším enzymem v mléce (Mullan 2003).

3.2.2 Mléčné výrobky a jejich výroba

3.2.2.1 Mléko

Zpracování syrového mléka zahrnuje několik klíčových kroků. Mezi nejdůležitější patří tepelné ošetření, aby byla zajištěna zdravotní nezávadnost a prodloužená trvanlivost. Prvním krokem je však odstředování, přičemž se rozděluje syrové mléko na mléko odtučněné (odstředěné) a na smetanu. Následuje standardizace tučnosti zpětným smícháním těchto dvou složek k dosažení určitého obsahu tuku. Po této fázi dochází k pasteraci, základnímu tepelnému ošetření. Pasterace může být dlouhodobá (ohřev na 63 °C po dobu 30 minut), šetrná (72 °C, 15 sekund) nebo vysoká (85 °C, 5 sekund) (Kadlec et al. 2009). Dále se u kravského mléka hojně uplatňuje metoda UHT (Ultra High Temperature), při kterém se mléko zahřívá na vysoké teploty (135 °C, 1 sekundu) za zvýšeného tlaku. Dochází tak k sterilaci mléka, tj. jsou zničeny všechny mikroorganismy a jejich spory. Touto metodou se vyrábí trvanlivé mléko, které vydrží i při pokojové teplotě po dobu deklarované trvanlivosti (Campbell, Marshall 2016a). Dalším krokem při zpracování spočívá v homogenizaci mléka, během níž se zmenšuje velikost a zvyšuje počet tukových kuliček a tím se minimalizuje vystávání mléčného tuku. Následuje deaerace neboli odvdušnění a odvětrávání. Tímto krokem se odstraňuje většina vzduchu a těkavých pachových látek z mléka, čímž se snižuje riziko oxidace tuku a zlepšují se jeho technologické vlastnosti (Kadlec et al. 2009).

3.2.2.2 Fermentované mléčné výrobky

Fermentované výrobky jsou mléčné produkty, které byly fermentované za použití speciálních kultur mikroorganismů. Tato kategorie zahrnuje mnoho druhů výrobků, jako jsou fermentované mléčné nápoje typu kefir a kumys, kysaná mléka a smetany a jogurty. Hlavním krokem během výroby je zakysání, které se provádí podle typu kvasné kultury. Nejvýznamnějšími kulturaми jsou bakterie mléčného kvašení (BMK) a dělí se na mezofilní bakterie, které se používají k výrobě kysaného mléka, smetany a podmáslí. Termofilní bakterie se používají při výrobě jogurtů a bakterie s kvasinkami se typicky využívají u kefiru a kumysu (Kadlec et al. 2009).

3.2.2.3 Máslo

Základní složky másla jsou mléčný tuk a voda, přičemž obsah tuku je minimálně 80 %. Existuje několik způsobů výroby másla, z nichž tradičním a nejrozšířenějším je stloukání smetany. Surovinou pro tuto výrobu je vysokopasterovaná a odvětraná smetana o tučnosti 40 % (Kadlec et al. 2009). Během šlehání smetany dochází k rozbití a shlukování tukových kuliček a vznikne máselné zrno, které se uvolní od mléčné plazmy (podmáslí). Máselné zrno se potom spojuje a upravuje hnětením (Campbell, Marshall 2016a).

3.2.2.4 Sýry

Podstatou výroby sýrů je koagulace bílkovin, resp. kaseinu, za vzniku sýřeniny (koagulátu) oddělením od syrovátky. Kasein se v mléce sráží snížením pH na jeho izoelektrický bod (kyselé srážení) nebo enzymatickým působením přísady syřidla (sladké srážení). Kyselé srážení se uplatňuje hlavně při výrobě tvarohů a některých sýrů (např. cottage). U sladkého srážení je kromě přísady syřidla (většinou enzymu chymosin) důležitá teplota vyšší než 6 °C a přítomnost vápenatých iontů. Výroba sýrů zahrnuje mnoho dalších procesů, jako zpracování sýřeniny, formování, solení a zrání (Kadlec et al. 2009).

3.2.2.5 Sušené mléko a kojenecká a dětská výživa

Sušené mléko se získává dvoustupňovým procesem. Nejprve se mléko zahušťuje ve vakuové odparce a pak je sušeno na prášek, obvykle ve sprejových sušárnách, s výslednou sušinou 96–98 % (Kadlec et al. 2009).

Kojenecká a dětská výživa je určena pro výživu kojenců nebo dětí do 3 let. Má vyšší nároky na hygienu a striktnější kontroly (Kadlec et al. 2009). Složení těchto výrobků je upraveno tak, aby se podobalo výživovým hodnotám mateřského mléka a spočívá v přísadách složek, které v kravském mléce chybí, např. sérové bílkoviny, nenasycené mastné kyseliny a laktosa. Po tepelném ošetření se směs homogenizuje, suší a fortifikuje vitaminy a minerály, např. železem (Claro da Silva, Jannatul Ferdaus 2023).

3.3 Přidané složky a bioaktivní látky

Obohacování mléka má své počátky na začátku 20. století, kdy byl do mléka a jeho výrobků přidáván olej z tresčích jater jako opatření proti křivici. V roce 1932 se mléko začalo obohacovat rafinovanou a syntetickou formou vitamínu D. Toto opatření představuje jeden z největších úspěchů v oblasti veřejného zdraví, kterým je prevence křivice u dětí. Ve 40. letech 20. století začal mlékárenský průmysl v USA přidávat do tekutého mléka vitamín A. Později byla úspěšně zavedena také fortifikace vitamínem C a minerálními látkami, jako je železo (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018).

Termín funkční potraviny byl poprvé navržen v Japonsku v 90. letech 20. století. Funkční potraviny mohou být v závislosti na zemi definovány odlišným způsobem. Obecně přijímaná definice však zní *"potraviny, které jsou sice svým aspektem podobné běžným potravinám, ale mají potenciálně pozitivní vliv na zdraví nad rámec základní výživy"* (Tee 2005).

Fortifikace může probíhat buď jednotlivě, kdy se zvýší koncentrace pouze jednoho mikronutrientu v jedné potravine (např. jodizace soli), nebo kombinovaně, kdy se obohacují potraviny celou řadou mikronutrientů (Allen et al. 2006). Většinou se u obohacujících složek jedná

o minerály a vitaminy např. vitaminy A a D v mléce. Potraviny se také mohou obohacovat různými bioaktivními látkami, jako jsou polynenasycené mastné kyseliny, karotenoidy nebo polyfenoly (Contò et al. 2018).

3.3.1 Minerální látky

3.3.1.1 Železo

Anemie představuje jednu z nejčastějších zdravotních obtíží globálně. V roce 2019 bylo zaznamenáno celosvětově 1,76 miliardy případů (IHME 2023), přičemž nedostatek železa, způsobený zejména nedostatečným příjmem v potravě, je hlavní příčinou vedoucí k anémii (WHO 2023). Světová zdravotnická organizace (WHO) doporučuje fortifikaci potravin jako účinnou a nákladově efektivní intervenci v boji proti anémii a nedostatku železa (Frolova 2024).

Vývoj fortifikovaných potravin obohacených železem byl nicméně náročnější ve srovnání s jinými mikroživinami. To je z toho důvodu, že železo může, na rozdíl od většiny ostatních mikroživin, způsobovat nežádoucí sensorické změny potravin. Přidání lépe rozpustných a biologicky dostupnějších sloučenin železa obvykle vyvolává změny v barvě a chuti potravin, zatímco méně rozpustné sloučeniny železa mohou způsobit menší sensorické změny, ale jsou mnohem hůře vstřebatelné (Hurrell 2021). Avšak v současnosti jsou tyto problémy z velké části překonány a byly vyvinuty účinné a sensoricky přijatelné technologie pro fortifikaci železem ve většině potravin (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018).

3.3.1.1.1 Fortifikační sloučeniny železa

Sloučeniny s potvrzenou účinností pro fortifikaci železem se obecně dělí do několika kategorií. Síran železnatý a glukonát železnatý jsou sloučeniny rozpustné ve vodě s dobrou biologickou dostupností, ale mohou také způsobit změny barvy a chuti u některých potravin (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018).

Fumarát železnatý má vysokou biologickou dostupnost, ale je špatně rozpustný ve vodě. Díky tomu způsobuje méně sensorických změn než snadno rozpustné sloučeniny železa (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018).

Pyrofosforečnan železitý (FPP) a elektrolytické železo jsou sloučeniny nerozpustné ve vodě, a proto způsobují jen malé až žádné sensorické změny. Nicméně tím, že se v žaludeční šťávě zcela nerozpouštějí, vstřebávací schopnost je asi jen poloviční v porovnání s rozpustnými sloučeninami jako je fumaran železnatý (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018).

Sodno-železitá sůl kyseliny ethylendiamintetraoctové (NaFeEDTA) a bisglycinát železnatý (FBG) jsou rozpustné cheláty železa, které mohou způsobit sensorické změny, ale které také chrání železo před inhibitory absorpce (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018). NaFeEDTA se doporučuje hlavně pro fortifikaci do obilných a luštěninových produktů, ale studie našly, že při jeho přidání do mléka se může dosáhnout vyšší absorpce v porovnání se sulfátem. Dalším problémem je ale jeho nižší stabilita při nižších hodnotách pH, jako ve fermentovaných mléčných výrobcích, kdy může dojít k vychytávání Fe^{+3} kyselinou mléčnou a kaseinem (Drago, Valencia 2008).

Kromě toho mohou být sloučeniny železa technologicky upraveny tak, aby se snížily sensorické změny (zapouzdřený neboli enkapsulovaný síran a fumarát), nebo aby se zvýšila

jejich disperze v kapalinách (mikronizovaný dispergovatelný pyrofosforečnan železitý (MDFPP)), a přitom vykázaly stejnou účinnost (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018).

V Tabulce 4 jsou uvedené sloučeniny železa, které jsou vhodnými přísadkami pro vybraná potravinová média. Podle WHO byl bisglycinát železnatý (FBG, ferrous bisglycinate) vyhodnocen jako nejvhodnější pro fortifikaci tekutého plnotučného mléka a dalších mléčných výrobků (Allen et al. 2006). Ačkoli je to poměrně drahé, používá se ve velké míře v Latinské Americe k obohacování mléka, jogurtů a dalších mléčných produktů (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018).

Sloučeniny železa rozpustné ve vodě, jako jsou síran železnatý a glukonát železnatý, jsou užitečné pro suché potraviny, jako jsou těstoviny, sušené mléko a sušené kojenecké výživy. Síran železnatý je také zdaleka nejčastěji používanou ve vodě rozpustnou sloučeninou, především proto, že je nejlevnější (Allen et al. 2006).

Je také důležité zmínit, že přísadek vitamínu C (kyseliny askorbové) podstatně zvyšuje množství absorbovaného železa z většiny sloučenin železa. Proto je přísadek vitamínu C do potravin obohacených železem široce rozšířenou praxí v potravinářském průmyslu. Jejich kombinace však může způsobit nepříjemné změny chuti tekutého mléka, a proto se obohacování tekutého mléka železem v praxi zatím příliš nepoužívá. Využívá se zejména u zpracovaných potravin, ale nedoporučuje se ani u základních potravin a koření z důvodu problémů se stabilitou, jelikož je vitamin C tepelně labilní sloučeninou. Podle WHO se pro obohacování tekutého mléka může přidávat FBG, MFPP a citronan amono-železitý (Allen et al. 2006; Hurrell 2021).

Tabulka 4: Fortifikační sloučeniny železa pro vybraná potravinová média. Upraveno podle Venkatesh Mannar & Hurrell (2018).

Potravinová média	Doporučené sloučeniny železa
Chleba, těstoviny	Síran železnatý
Sůl	MI enkapsulovaný síran železnatý, Pyrofosforečnan železitý (FPP)
Sušené mléko, sušená kojenecká výživa	Síran železnatý, glukonát železnatý, (oba s kyselinou askorbovou)
Mléko	Bisglycinát železnatý (FBG), citronan amono-železitý, mikronizovaný pyrofosforečnan železitý (MFPP)
Práškové doplňky mikronutrientů	Enkapsulovaný fumarát železnatý, NaFeEDTA, FPP

3.3.1.1.2 Fortifikované železo v mléčných produktech

V Chile se obohacuje sušené mléko železem spolu s vitamínem C, prostřednictvím veřejně zdravotního programu, za účelem omezení anémie u kojenců a mladých dětí (Allen et al. 2006).

Ve studii od Rice, McMahon (1998) byl sýr mozzarella vyroben z mléka obohaceného kaseinovým chelátem železa, chelátem syrovátkové bílkoviny železa nebo FeCl₃. Přísadek 25 a 50 mg železa/kg sýru měl malý až žádný vliv na fyzikálně-chemické vlastosti sýru, ale byla zaznamenaná mírně zvýšená kovová a oxidovaná příchut'. Výzkum došel k závěru, že u

nezrajících sýrů hrozí jen malé riziko nepříznivých změn chuti způsobených oxidací a lze je úspěšně fortifikovat železem. Dále bylo poznamenáno, že v porovnání s chloridem železitým, nepřinesly cheláty bílkovin žádné výhody, které by ospravedlnily dodatečné náklady a čas potřebné k jejich přípravě.

Ve studii od Hekmat, McMahon (1997) byly také vyrobeny jogurty obohacené o 10, 20 a 40 mg železa/kg jogurtu a byly hodnoceny jejich senzorycké vlastnosti ve srovnání s nefortifikovanými jogurty. Nebyl zaznamenán žádný nárůst chemické oxidace ani nárůst kovových, hořkých nebo jiných nepříjemných příchutí.

3.3.1.2 Zinek

Zinek je jedním ze základních mikroelementů. Je součástí široké škály důležitých biologických funkcí, mezi něž patří reprodukce, růst a hojení, metabolické procesy a neurologické a imunitní funkce. Nedostatek zinku je běžný po celém světě, ale vyskytuje se častěji v rozvojových zemích, zejména u rizikových skupin jako jsou děti a těhotné ženy. Ve vyspělých zemích je však spojován se stárnutím a chronickými onemocněními. (Maxfield, Shukla, Crane 2024).

Množství absorbovaného zinku se často používá k vyhodnocení účinku jeho fortifikačních programů. Vstřebávání zinku se obecně zvyšuje s jeho množstvím ve stravě a je silně ovlivněno celkovým složením stravy. Fytát (kyselina fytová), obsažený v luštěninách, semenech a sójových a celozrnných produktech, snižuje vstřebávání zinku. Dalšími inhibičními sloučeninami jsou např. vápník, fosfáty a oxaláty (šřavelany, tj. soli kyseliny šřavelové) (Maxfield, Shukla, Crane 2024). V lidské výživě se zinek a železo často hodnotí společně, jelikož mají tyto minerály společné potravinové zdroje. Jelikož k nedostatku obou živin dochází častou současně, předpokládá se, že vstřebávání obou živin z potravy je zvyšováno a inhibováno podobnými sloučeninami, a tak často dochází ke kombinované fortifikaci (Lim et al., 2013). Byla sledována interakce mezi zinkem a železem v obohacených potravinách, avšak výsledky neprokázaly žádný významný vliv železa na absorpci zinku. (Hall, King 2022). Jsou-li však zinek s železem podávány společně, může se snižovat vstřebávání železa, ale neexistují dostatečné důkazy, které by od společné suplementace odrazovaly (Walker et al. 2005).

3.3.1.2.1 Fortifikační sloučeniny zinku

Sloučeniny zinku, které jsou vhodné pro použití jako obohacující látky, zahrnují síran, oxid, glukonát, octan a stearan zinečnatý (Allen et al. 2006; Tsang et al. 2021). Všechny tyto sloučeniny mají různou rozpustnost ve vodě, a některé z nich mohou po přidání do některých potravin vykazovat senzorycké, zejména chuťové, změny. Oxid zinečnatý je ve vodě špatně rozpustný a je zároveň nejlevnější ze všech zinečnatých látek, a proto bývá i preferovanou volbou (Allen et al. 2006). Síran zinečnatý je naopak dobře rozpustný ve vodě a je hlavní fortifikační sloučeninou zinku v suchých potravinách (Allen et al. 2006; Venkatesh Mannar, Hurrell 2018). Navíc jsou jeho rozdíly v biologické dostupnosti v porovnání s oxidem zinečnatým minimální (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018).

3.3.1.2.2 Fortifikovaný zinek v mléčných produktech

V nedávné době dochází k nárůstu trendu obohacování mléčných produktů zinkem. V minulosti byla jeho fortifikace v mléku a mléčných výrobcích hlavně zaměřena na populaci,

jako jsou kojenci (Morgan et al. 2010), děti předškolního a školního věku (Sazawal et al. 2013) a těhotné ženy (Wibowo, Bardosono, Irwinda 2016).

Ve studii od Méndez et al. (2015) provedené na dospívajících se denní absorpce zinku prostřednictvím obohaceného mléka výrazně zvýšilo. Zajímavostí je, že přibližně 15 % tohoto zvýšení bylo způsobeno tím, že mléko ovlivnilo absorpci zinku z ostatních potravin, zatímco 85 % připadlo na absorpci zinku právě z mléka. Tyto údaje jsou v souladu s výsledky od Shkemi, Huppertz (2021), kteří pozorovali vliv mléka a mléčných výrobků na biologickou dostupnost zinku z ostatní stravy. Schopnost mléka a mléčných výrobků zvyšovat absorpci a retenci zinku z ostatních potravin představuje zajímavý cíl pro obohacování výrobků zinkem.

V průběhu studie od Abd-Rabou et al. (2010), která se zabývala vlastnostmi eidam sýru obohaceného zinečnatými soli, bylo zjištěno, že všechny sledované senzorycké charakteristiky se během zrání zvýšily. Vzorky sýrů fortifikované octanem nebo chloridem zinečnatým byly vyhodnoceny jako chutnější, s lepší konzistencí a strukturou, barvou a vzhledem. Studie naznačila, že přídavek těchto sloučenin může zlepšit organoleptické vlastnosti sýru eidam a urychlit dobu jeho zrání.

3.3.1.3 Vápník

Vápník je nejhodnější minerálem v těle, přičemž je většina (98 %) uložena v kostech a zubech (NIH 2024a). Vápník hraje zásadní roli při udržování pevnosti kostry. Podílí se také na mnoha metabolických procesech, včetně srážení krve, buněčné adheze, svalové kontrakce, uvolňování hormonů a neurotransmiterů, metabolismu glykogenu a proliferace a diferenciaci buněk (Allen et al. 2006).

V porovnání s ostatními mikroživinami je vápníku potřeba relativně velké množství (1000 mg/den pro dospělého člověka) (NIH 2024a). Dalším aspektem vápníku je jeho absorpce v těle. Vstřebávání vápníku z potravy je přibližně 45% při příjmu 200 mg/den (Fairweather-Tait, Teucher 2002), ale pouze 15 % při příjmu vyšším než 2 000 mg/den. Vstřebávání vápníku ze stravy může ovlivnit také věk. Čistá absorpce vápníku ze stravy dosahuje až 60 % u kojenců a dětí, které potřebují značné množství pro stavbu kostí. V dospělosti se však snižuje na přibližně 25 % a s věkem dále klesá. Proto je při obohacování potravin důležité zohlednit přidávané množství a cílovou demografickou skupinu. Vstřebávání vápníku z mléčných výrobků a obohacených potravin je přibližně 30 % (Institute of Medicine 2011). Jeho celkové vstřebávání z potravy se může snižovat přítomností některých rostlinných látek (např. kyselina šťavelová, fytová), v malé míře také příjmem kofeinu a fosforu a ve větší míře nízkou hladinou vitamínu D (Wikoff et al. 2017; Fairweather-Tait, Teucher 2002; NIH 2024a).

Mléko, jogurty a sýry jsou bohatými přírodními zdroji vápníku. V USA tvoří mléčné výrobky a potraviny s přídavkem mléčných složek přibližně 72 % příjmu vápníku (Institute of Medicine 2011). Z tohoto důvodu, spolu s jeho vysokou biologickou dostupností, jsou mléčné výrobky ideálními prostředky pro fortifikaci vápníkem (Ocak, Rajendram 2013).

3.3.1.3.1 Fortifikační sloučeniny vápníku

Pro obohacování mléčných výrobků vápníkem se používá několik komerčně dostupných vápenatých solí, které jsou uvedeny v Tabulce 5. Tyto soli se obecně dělí do tří skupin: anorganické (např. uhličitan, fosforečnan, chlorid vápenatý), organické (např. citrát, laktát, glukonát vápenatý) a soli živočišného nebo rostlinného původu, do kterých patří mléčný vápník

(zejména fosforečnan vápenatý) nebo vápník z mořských řas (zejména uhličitan vápenatý) (Ocak, Rajendram 2013). Většina těchto solí jsou chuťově nevýrazné, až na citronan, který má trpkou příchut'. Vysoké koncentrace chloridu a laktátu mohou také přivolat nepříjemnou chuť (Allen et al. 2006). Výběr vhodné sloučeniny pro konkrétní použití obvykle závisí na gastronomických a fyzikálně-chemických vlastnostech výrobku, jako je rozpustnost, obsah vápníku, chuť a biologická dostupnost (Ocak, Rajendram 2013). Významný je také ekonomický faktor, např. cena uhličitanu vápenatého je velmi nízká (obvykle nižší než cena mouky). Také vzhledem k tomu, že denní potřeba vápníku je poměrně vysoká, se vápník přidává ve větších dávkách, a to většinou samostatně, místo toho, aby se přidával ve směsi s jinými mikroživinami, (Allen et al. 2006).

Vstřebávání přidaného vápníku je zpravidla podobné k vstřebávání vápníku z přirozených zdrojů, které se pohybuje mezi 10–30 %. Nicméně, jak již bylo výše zmíněno, vysoké koncentrace vápníku mohou snižovat účinnost vstřebávání a mohou i bránit vstřebávání železa z potravy. Proto je důležité pečlivě zvažovat množství přidaného vápníku. Současný přídatek kyseliny askorbové může pomoci překonat inhibiční účinek vápníku na vstřebávání železa (Allen et al. 2006). Dále společná fortifikace s vitamínem D může zvýšit hustotu minerálů v kostech (Liu et al. 2020; NIH 2024a).

Tabulka 5: Mléčné výrobky fortifikované Ca, jeho sloučeniny a koncentrace. Upraveno podle Ocak & Rajendram (2013).

Produkt	Vápenatá sůl	Obsah Ca
Mléko	Chlorid vápenatý dihydrát, laktát vápenatý tetrahydrát, glukonát vápenatý monohydrát, uhličitan vápenatý	50-75-100 mg/100 ml
Sójové mléko	Chlorid vápenatý	25 mM
Rekonstituované sušené odstředěné mléko	Uhličitan, fosforečnan, laktát, citrát vápenatý	0,15; 0,18; 0,24 % (hmotnostních %)
Ovocný jogurt	Laktát vápenatý pentahydrát	25-50-75-100 mg/100 ml
Jogurt	Laktát vápenatý	400-600-800 mg/100 g
	Glukonát vápenatý	600-800-1000 mg/100 g
Sýr	Chlorid vápenatý	0,02-0,03-0,05 %
Nízkotučný jogurt	Citrát vápenatý	180 mg/100 g
Kondenzované mléko	Uhličitan vápenatý	169 mg/100 g
Plnotučné mléko	Glukonát vápenatý monohydrát	166 mg/100 g

3.3.1.3.2 Fortifikovaný vápník v mléčných produktech

Obohacování mléka vápníkem se běžně používá ke zlepšení jeho výživových vlastností (Acosta et al. 2020). Tekuté mléko je také nejhojnějším mléčným výrobkem, který se fortifikuje vápníkem (Cormick et al. 2021). Nicméně se vápníkem obohacuje řada dalších mléčných výrobků, které jsou uvedeny v Tabulce 5.

Dále bylo zjištěno, že obohacené fermentované mléko bylo účinné při snižování aktivity osteoblastů, které vychytávají vápník z krve, a tak se zvyšuje koncentrace sérového vápníku (Adolphi et al. 2009).

Studie dle Sandmann et al. (2017) hodnotila potenciál dobrovolného programu fortifikace vápníku a vitamínu D v Německu na snížení počtu osteoporotických zlomenin, přičemž klíčovou roli hrála fortifikace mléka. Díky nízkým nákladům a potenciálně vysoké efektivnosti byl tento návrh vyhodnocen za ekonomicky výhodnou preventivní zdravotní strategii.

Existuje mnoho komerčně dostupných potravin obohacených vápníkem v různých zemích. Například v Latinské Americe, Rakousku, Francii, Švýcarsku, Velké Británii, Jižní Koreji a na Taiwanu jsou k dispozici výrobky jako mléko, jogurty, sýry a sladové mléko (směs sladového ječmene, pšeničné mouky a sušeného plnotučného mléka, která se používá jako ochucovadlo do nápojů a jako přísada do těsta na chléb) obohacené vápníkem, železem a vitamínem D (Fisk, Theobald, Sanders 2012; Palacios et al. 2021). Dalším významným prostředkem obohacování vápníkem jsou kojenecké výživy (Palacios et al. 2021).

3.3.2 Vitaminy

3.3.2.1 Vitamin A (retinol)

Vitamin A je vitamin rozpustný v tucích. U potravin živočišného původu se vyskytuje ve formě retinolu a u potravin rostlinného původu ve formě provitaminu A, tj. karotenoidy (zejména β -karoten), které jsou následně organismem přeměněny na vitamin A (Contò et al. 2018).

Tento vitamin plní řadu významných funkcí. Hraje klíčovou roli v procesu vývoje a diferenciaci somatických buněk, zejména epitelových a kostních. Je nezbytný pro správnou funkci oční sítnice a tím je podstatný pro zrak. Dále ovlivňuje procesy spermatogeneze, embryogeneze a formování placenty. Je také důležitý pro imunitní systém a zdraví sliznic, jako jsou ty v trávicím, dýchacím, vylučovacím a pohlavním systému. (Woźniak et al. 2022).

Jelikož má vitamin A preventivní a léčebný účinek proti mnoha očním onemocněním, nedostatek vitamínu A se považuje jako významnou zdravotní problematikou v mnoha zemích (Hombali et al. 2019). Dostatečný příjem pomáhá v prevenci např. šerosleposti, tj. zhoršené vidění za šera nebo tmy, neboť se podílí na syntéze pigmentů v oční sítnici (Woźniak et al. 2022). WHO odhaduje, že šeroslepost postihuje 5,2 milionů dětí předškolního věku a 10 milionů těhotných žen celosvětově (WHO 2009).

3.3.2.1.1 Fortifikační sloučeniny vitamínu A

V mléce je vitamin A přirozeně obažen ve formě retinolu, retinyl esterů a karotenů. Plnotučné mléko obsahuje průměrně 40 μg retinolu a 20 μg karotenu na 100 ml (Morrissey, Hill 2009). Dalšími významnými zdroji jsou jiné mléčné výrobky s vyšším obsahem tuku, jako jsou jogurty, smetany, sýry a zmrzliny. Vitamin A je relativně stabilní sloučeninou během zpracování. Při pasterizaci (zahřátí na teploty do 100 °C) dochází jeho k minimálním ztrátám. Ke ztrátám může dojít v UHT mléce při jeho dlouhodobém skladování při pokojové teplotě (Fox et al. 2015).

S vitamínem A se často fortifikují odtučněná mléka, kvůli jeho přirozeně nízké koncentraci, jak je výše uvedeno v Tabulce 3. Sušené mléko je dalším výrobkem cílené

fortifikace, jelikož kvůli většímu povrchu prášků, dochází k výraznějším ztrátám. Přidaný vitamin A je však méně stabilní v porovnání s nativní formou. Je proto důležité zohlednit složení lipidu, na který se vitamin naváže a který ovlivní jeho stabilitu (Fox et al. 2015).

Jelikož je vitamin A z živočišných zdrojů (tj. retinol a estery retinolu) nestabilní sloučeninou, v komerčních přípravcích se esterifikuje, obvykle s kyselinou palmitovou nebo octovou, na stabilnější estery (Dary, Mora 2002). Retinyl acetát a retinyl palmitát jsou tak spolu s provitaminem A (β -karotenem) hlavními komerčními formami vitaminu A. Jelikož je vitamin A rozpustný v tucích, snadno se přidává do tučných nebo mastných potravin, jako např. do másla. Pokud se přidává do suchých nebo vodnatých potravin, je zapotřebí zapouzdřená forma vitaminu. Je také důležité brát v úvahu, že formy retinolu rozpustné v tucích jsou přibližně o polovinu až dvě třetiny levnější než jeho suché formy (Allen et al. 2006). Jednotlivé formy a jejich aplikace jsou dále uvedeny v Tabulce 6.

Čistý vitamin A a β -karoten jsou v roztoku a při vystavení k UV záření a vzduchu nestabilní. Proto jsou všechny fortifikační sloučeniny vitaminu A (olejové i suché) přidávány s antioxidanty, aby se prodloužila jejich trvanlivost. Obal výrobku je z tohoto hlediska dalším důležitým faktorem. Například, obaly, které zabraňují přístupu světla a vzduchu, výrazně snižují ztráty vitaminu A a prodlužují dobu skladování (Allen et al. 2006).

Tabulka 6: Komerčně dostupné formy vitaminu A, jejich vlastnosti a hlavní fortifikační prostředky. Upraveno podle Allen et al. (2006).

Fortifikační látka	Charakteristika	Aplikace
Olejový retinyl acetát	Ester retinolu a kyseliny octové, může být stabilizováno antioxidanty	Potraviny na bázi tuku, zejména margarín a mléčné výrobky
Olejový retinyl palmitát	Ester retinolu a kyseliny palmitové, může být stabilizováno antioxidanty	Potraviny na bázi tuku, zejména margarín a mléčné výrobky
Olejový retinyl palmitát nebo acetát s vitaminem D3	Ester retinolu a cholekalciferolová směs, stabilizováno antioxidanty	Potraviny na bázi tuku, zejména margarín a mléčné výrobky, kde je vyžadována kombinace obou vitamínů
Suchý retinyl palmitát nebo acetát	Ester retinolu obsažený ve vodě rozpustné matrici (např. želatina, akáciová guma, škrob), stabilizováno antioxidanty	Suché potraviny (např. mouka, sušené mléko, nápojové prášky) a potraviny na bázi vody
Suchý retinyl palmitát nebo acetát s vitaminem D3	Ester retinolu a cholekalciferol ve vodě rozpustné matrici, stabilizováno antioxidanty	Suché potraviny (např. mouka, sušené mléko, nápojové prášky) a potraviny na bázi vody

3.3.2.1.2 Fortifikovaný vitamin A v mléčných produktech

Vitamin A jako obohacující složka se přidává hlavně do mléka a mléčných produktů (Woźniak et al. 2022) a vzhledem k významným zdravotním rizikům spojeným s jeho nedostatkem, zejména u dětí, se uskutečnila řada fortifikačních programů po celém světě (Allen

et al. 2006). V Mexiku existuje Národní program školních snídaní, který poskytuje potraviny obohacené železem, zinkem a vitamínem A. V tomto programu se předpřipravený vitamin A přidává do UHT mléka a poskytuje tak 35 % denní doporučené dávky pro děti v předškolním věku (Lopez-Teros et al. 2013).

Kromě programu školních snídaní se od roku 2001 uskutečnil i Mexický národní program potravinové pomoci, ve kterém docházelo k distribuci sušeného mléka, produkované firmou Licons, obohacené o mikroživiny. Tento program se zaměřuje na znevýhodněné skupiny obyvatelstva z důvodu nízkého socioekonomického statusu nebo omezeného přístupu k potravinám (zejména děti a seniory) (Lopez-Teros et al. 2013; Gobierno de México 2024).

3.3.2.2 Vitamin D

Vitamin D je jedním z nejdůležitějších regulátorů homeostázy vápníku a fosforu. Kromě toho je také klíčovým faktorem při diferenciaci buněk a v sekreci a metabolismu hormonů, včetně parathormonu a inzulínu. Vitamin D neboli kalciferol je vitamin rozpustný v tucích. Je syntetizován v kůži působením slunečního záření u většiny živočichů a u člověka. Vzniká tak přirozeně se vyskytující forma vitaminu známá jako vitamin D3 (cholecalciferol). Vitamin D lze také získat ze stravy, a to buď jako vitamin D3, nebo jako blízkce příbuznou sloučeninu rostlinného původu vitamin D2 (ergocalciferol). Závažný nedostatek vitaminu D vede u kojenců a dětí k onemocnění kostí zvanému křivice a u dospělých k osteomalacii, u kterých dochází k nedostatečné mineralizaci kostí (Allen et al. 2006). Suplementace vitamínem D také zvyšuje biologickou dostupnost vápníku, reguluje hladinu fosfátů a zvyšuje mineralizaci kostí (Ocak, Rajendram 2013).

Nízké hladiny vitaminu D jsou problematikou v populacích po celém světě. Zvláště v evropských a severoamerických populacích žijících nad 40. rovnoběžkou severní šířky (Cashman, O'Neill 2024; Fioletov et al. 2010). Důvodem je hlavně nižší působení UVB záření během zimních měsíců, čímž se i snižuje dermální syntéza vitaminu D3 (O'Neill et al. 2016). Nedostatek vitaminu D je v evropské populaci patrný ve vysoké míře. Mapa stavu vitaminu D v různých zemích (na základě 107 studií zahrnujících více než 630 000 osob) odhalila, že každý osmý člověk je ohrožen nedostatkem vitaminu D, a to i ve slunných oblastech (Cashman et al. 2016). Mimo Evropu bylo riziko nedostatku vitaminu D popsáno také na Blízkém východě, v Číně, Mongolsku a Indii (Pellegrino et al. 2021).

Nízké hladiny vitaminu D jsou zejména závažnou problematikou u kojenců a dětí. Mezi další rizikové skupiny patří starší jedinci, jelikož je stárnutí spojeno se snížením koncentrace prekurzoru vitaminu D3 v kůži, a tak i se sníženou schopností tvorby vitaminu D3. Také lidé s tmavší kůží, tj. s větším množstvím pigmentu melaninu v epidermální vrstvě, mají vyšší odolnost vůči slunečnému záření. Kvůli tomu mají i sníženou schopnost produkovat vitamin D, zvláště v oblastech s nižším množstvím slunečního záření. Dále jsou ohroženi lidé s gastrointestinálními onemocněními, kteří trpí malabsorpcí, a lidé obézní, protože vitamin D je rozpustný v tucích a tukové buňky ho snadno odvádějí z oběhu (Lawrence 2013).

3.3.2.2.1 Fortifikační sloučeniny vitaminu D

Do potravin lze přidávat vitamin D2 nebo D3. Obě formy mají podobnou biologickou aktivitu a jsou velmi nestabilní v přítomnosti kyslíku a vlhkosti. Také často interagují s mnoha minerálními látkami. Proto pro většinu komerčních aplikací se obvykle používá suchá

stabilizovaná forma vitamínu D, která obsahuje antioxidant (obvykle vitamin E), který chrání jeho aktivitu i v přítomnosti minerálních látek (Allen et al. 2006). Pro komerční použití existují i přípravky vitamínu D obsažené v jedlých olejích, které jsou stabilnější než suché formy (Ottaway 2008).

Několik studií také prokázalo, že nedostatek vitamínu D se zhoršuje při nízkém příjmu vápníku (Allen et al. 2006). Proto zajišťují mléko a mléčné výrobky, které přirozeně obsahují vysoké množství vápníku, i vyšší vstřebatelnost fortifikovaného vitamínu D (Woźniak et al. 2022).

3.3.2.2.2 Fortifikovaný vitamin D v mléčných produktech

Povinné obohacování mléka vitamínem D je reprezentativním případem, kdy je obohacování potravin navrhováno jako politická reakce na nedostatek primárního zdroje určité živiny (Lawrence 2013). Například v Kanadě, která historicky měla vysoký výskyt křivice a nedostatku vitamínu D (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018), se v 60. letech 20. století rozšířily přísady vitamínu D do potravin, jako jsou mléko, kondenzovaná a sušená mléka, čokoládové nápoje v prášku, ovocné nápoje, snídaně cereálie a margarín (Andrews, Burton, Kees 2011). Ze začátku byly přísady dobrovolné, ale později v roce 1964 byl vytvořen předpis zvaný FDR (Food and Drug Regulations) (Institute of Medicine 2003). Jednalo se o seznam potravin, které musí být obohaceny vitamíny, minerálními látkami nebo aminokyselinami ve stanoveném množství. To bylo stanoveno proto, aby se zabránilo nedostatku, ale také předávkování v důsledku kombinace různých obohacených potravin a doplňků. Od roku 1975 je v Kanadě povinné přidávání vitamínu D do mléka, margarínu, kondenzovaného a sušeného mléka, což vedlo k dramatickému snížení výskytu křivice (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018). Mléko by tedy mělo podle označení na výrobku, poskytovat 44 % denní doporučené dávky na porci 250 ml (Calvo, Whiting, Barton 2004).

Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) v USA nedávno schválil používání zvýšeného množství vitamínu D₃ v obohaceném mléce a používání vitamínu D₂ v alternativách mléka a jogurtech vyrobených z jedlých rostlin (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018).

Studie provedená v letech 2000 až 2011 ve Finsku dále zjistila, že fortifikace tekutých mléčných výrobků a roztíratelných tuků výrazně zvýšila hladiny vitamínu D u dospělé populace. Toto zvýšení bylo vysvětleno především fortifikací potravin, zejména tekutých mléčných výrobků (Jääskeläinen et al. 2017).

Další studie zkoumala účinky zvýšení příjmu vitamínu D na doporučené množství pomocí fortifikace mléka a chleba v rodinách v Dánsku během zimního období. Tato strategie byla úspěšná u 78 % dětí a 56 % dospělých a konečná koncentrace v séru byla významně vyšší ve fortifikované skupině než v kontrolní (Madsen et al. 2013).

Vitamin D je dále nejběžnějším přísadkem v sýrech. V různých potravinářských odvětvích jsou rozšířeny také vitamíny A, C a E. Vitamin D se používá nejčastěji na fortifikaci čedaru ve formě emulgovaného nebo krystalického cholecalciferolu (vitamínu D₃) (Picciotti et al. 2022).

3.3.2.3 Vitaminy skupiny B

Skupina vitaminů B je heterogenní soubor vitaminů rozpustných ve vodě, z nichž většina funguje jako koenzymy nebo jsou prekurzory koenzymů. Mezi ně patří thiamin (B₁), riboflavin

(B2), niacin (B3), kyselina pantotenová (B5), pyridoxin (a příbuzné látky, vitamin B6), biotin (B7), kyselina listová (folát, B9) a kobalamin (a jeho deriváty, vitamin B12) (Fox et al. 2015). Jsou široce rozšířeny v potravinách, jako jsou obiloviny, maso, drůbež, vejce, ryby, mléko, luštěniny a čerstvá zelenina. Nicméně se tyto vitaminy při skladování a přípravě potravin snadno ničí nebo vyplavují (Bellows, Moore 2012), jako např. během pasterace nebo UHT, kdy dochází až k 10–20% ztrátám (Woźniak et al. 2022). Je známo, že nedostatek vitaminů B-komplexu může vést k anémii, zažívacím potížím, kožním onemocněním, infekcím, periferní neuropatii a neurologickým poruchám (Rathee et al. 2022).

Vzhledem k tomu, že jsou potravinové zdroje jednotlivých vitaminů skupiny B podobné, jejich nedostatky jsou většinou také v kombinaci. Mezi závažnější deficiencie patří nedostatek kyseliny listové a kobalaminu.

3.3.2.3.1 Vitamin B9 (kyselina listová, folát)

Vitamin B9 hraje důležitou roli v syntéze a metylaci nukleotidů, které se podílejí na množení buněk a růstu tkání. Při syntéze a metabolismu bílkovin je jeho funkce úzce spjata s funkcí vitaminu B12. Kombinace velkého nedostatku folátu a vitaminu B12 může vést k megaloblastické anémii (Allen et al. 2006). Většina evropských zemí doporučuje doplňování kyseliny listové před početím a do prvních 3 měsíců těhotenství, jelikož může nedostatek způsobit vrozená postižení, zejména defekty neurální trubice. (Khan, Jialal 2024). Nedostatek folátů bývá častější v populaci, která má vysoký příjem rafinovaných obilovin, které mají nízký obsah folátů, a nízký příjem listové zeleniny a ovoce, které mají vysoký obsah folátů (Allen et al. 2006).

3.3.2.3.2 Vitamin B12 (kobalamin)

Vitamin B12 je kofaktorem při syntéze esenciální aminokyseliny methioninu a jeho metabolická funkce úzce souvisí s vitamínem B9. U kobalaminu neexistují jasné důkazy o tom, že by se nedostatek lišil v závislosti na zemi nebo regionu (Allen et al. 2006). Kobalamin se v nadbytku ukládá v játrech, avšak v případech, kdy se B12 nemůže vstřebávat po delší dobu (např. z důvodu nedostatku ve stravě, malabsorpce, autoimunitní onemocnění), jsou jaterní zásoby vyčerpány a dochází k deficienci (Ankar, Kumar 2024). Vegani a vegetariáni mají vyšší riziko rozvoje nedostatku vitaminu B12, jelikož přirozené zdroje tohoto vitaminu jsou omezeny na živočišné produkty. Dále starší jedinci, lidé s gastrointestinálními poruchami a perniciózní anémií, kojenci a těhotné ženy jsou vystaveni vyššímu riziku nedostatku vitaminu B12 (NIH 2024b).

3.3.2.3.3 Fortifikační sloučeniny vitaminů B

Vitaminy skupiny B jsou ve fortifikaci většinou posuzovány jako jedna skupina, vzhledem k tomu, že mají podobné vlastnosti nejen při použití jako obohacující látky, ale také bývají přidávány do stejných potravin. Konkrétní sloučeniny, které se často přidávají do potravin, jsou uvedeny v Tabulce 7.

Tabulka 7: Vitaminové sloučeniny používané pro obohacování mléka. Upraveno podle Venkatesh Mannar & Hurrell (2018).

Vitamin	Používané sloučeniny
Thiamin	Thiamin mononitrát, thiamin hydrochlorid
Riboflavin	Riboflavin
Niacin	Nikotinamid
Kyselina pantotenová	Pantotenát vápenatý
Pyridoxin	Pyridoxin hydrochlorid
Kyselina listová	Kyselina pteroylmonoglutamová
Vitamin B12	Kyanokobalamin při 1 % nebo 0,1 %

3.3.2.3.4 Fortifikované vitaminy skupiny B v mléčných produktech

V Kostarice byla zavedena integrovaná strategie sledování nedostatku kyseliny listové, prevalence defektů neurální trubice a fortifikace potravin kyselinou listovou. Program sledování fortifikace potravin kyselinou listovou probíhal mezi lety 2010–2020 a používal jako fortifikační prostředky mléko, kukuřičnou a pšeničnou mouku a rýži. Po zavedení fortifikačního programu došlo v Kostarice k 84% poklesu nedostatku kyseliny listové u žen ve fertilním věku a k 53% poklesu výskytu defektů neurální trubice. V letech 2010–2020 poskytly všechny obohacené potraviny průměrný příspěvek 119 % EAR (ang. estimated average requirement) na kyselinu listovou v populaci (Benavides-Lara et al. 2023).

Studie od Burmistrova et al. (2018) sledovala účinky fortifikantů vitaminových premixů a selenu na kvalitu a výživovou hodnotu obohaceného pasterovaného mléka. Studie vyhodnotila, že výživová dávka 200 ml obohaceného mléka splňuje denní dávku dospělého člověka v následujících mikroživinách (%): vitaminy B5 – 42, B6 – 34, C – 23-22, B9 – 21.

Národní program doplňkové výživy pro seniory v Chile sledoval stav vitamínu B12 u starších osob, neboť mají vyšší riziko jeho nedostatku. Program poskytoval mléčný nápoj v prášku a sušenou polévku, které byly obohaceny o vitamíny a minerály. Oba výrobky společně poskytovaly 1,7 µg/den vitamínu B12; přibližně 58 % denního referenčního příjmu (2,4 µg/den) (Sanchez et al. 2013).

3.3.3 Probiotika

Probiotika jsou považována za "přátelské" nebo "dobré" bakterie, které svému hostiteli poskytují příznivé účinky na zdraví (Ortiz et al. 2017). Je prokázáno, že potraviny s přísávkem těchto živých mikrobů mají příznivé účinky na lidské zdraví, zejména ty obsažené v mléčných výrobcích. Uvádí se, že tato probiotika mohou hrát důležitou roli v imunologických, trávicích a dýchacích funkcích a mohla by mít významný vliv na zmírnění infekčních onemocnění u dětí (FAO and WHO 2006). Studie také prokazují, že by probiotika mohla mít antibiotické vlastnosti, zvláště v boji proti komplexním onemocněním, jako jsou onemocnění gastrointestinálního traktu, a nervového systému (Picciotti et al. 2022; Fijan 2023).

Do mléčných produktů se probiotika přidávají většinou ve formě BMK do fermentovaných mléčných výrobků, jako např. jogurty a fermentované mléčné nápoje (Holzapfel, Schillinger 2002). Probiotika se také používají v kombinaci s prebiotiky

(synbiotika), aby se zlepšila životaschopnost mikrobiálních buněk, jelikož prebiotika často působí jako záchytné matrice během průchodu trávicím traktem a uvolňují je ve střevě a slouží jako fermentovatelné substráty. Použití probiotik navíc může zlepšit senzorycké vlastnosti výrobku a může pomoci zamaskovat případné příchutě v mléčných výrobcích obohacených železem a zinkem (Picciotti et al. 2022). Přídavek probiotik do mléčných výrobků obohacených železem může také potenciálně zlepšit biologickou dostupnost železa, jelikož tlusté střevo může fungovat jako významné místo absorpce železa (Cayot, Guzun-Cojocar, Cayot 2013).

3.3.3.1.1 Fortifikační probiotika

Probiotický potenciál různých bakteriálních kmenů, a to i v rámci jednoho druhu, je velmi variabilní. Výhody probiotik spojené s jedním konkrétním druhem nebo kmenem nemusí nutně platit pro ostatní, přestože jeden probiotický kmen může mít více mechanismů účinku. Kmeny s prospěšnými vlastnostmi patří častěji k rodům *Streptococcus*, *Bifidobacterium* a *Lactobacillus* (Picciotti et al. 2022), přičemž nejvíce studovanými probiotiky pro obohacování mléčných výrobků jsou *Lactobacillus* spp. (Amiri et al. 2019). Probiotické vlastnosti mají také *Saccharomyces* spp., *Propionibacterium* spp. a *Enterococcus* spp.. Všechny tyto rody vykazují různé vlastnosti, včetně protizánětlivých vlastností, stimulace imunitního systému a kompetice s některými střevními patogeny (Picciotti et al. 2022). Z různých probiotik se pro přidávání do funkčních mléčných výrobků upřednostňují BMK, jako jsou *Lactobacillus delbrueckii* sub sp. *bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus* a některé druhy bifidobakterií a jejich metabolity (Ali et al. 2022).

3.3.3.1.2 Probiotika v mléčných produktech

Mléčné výrobky představují jeden z nejúspěšnějších způsobů poskytování prospěšných probiotik díky jejich hojné konzumaci. Samotné složení mléka umožňuje výrobu funkčních potravin, poněvadž je považováno za lepší matrici pro probiotické bakterie než doplňky stravy (Lucatto et al. 2020). Během fermentace mléka některé BMK hydrolyzují kaseiny, čímž se uvolňují antihypertenzní peptidy (Shah 2007). Během zrání sýrů některé další přeměňují glutamát na kyselinu γ -aminomáselnou (GABA), která vykazuje řadu biologických aktivních účinků (Nomura et al. 1998). V porovnání s jinými technologiemi je použití vybraných mikroorganismů pro získání funkčních potravin výhodné především proto, že mikroorganismy jsou schopny růst vysokou rychlostí na relativně chudých substrátech (Minervini, Angelis, Gobbetti 2017). V důsledku toho se v komerčním měřítku úspěšně uplatňují různé produkty (Ortiz et al. 2017), jak je znázorněno v Tabulce 8. V současné době se celosvětově vyrábí více než 70 produktů obsahujících laktobacily a bifidobakterie, včetně zakysané smetany, podmáslí, mražených dezertů a probiotických nápojů (Ali et al. 2022).

Tabulka 8: Příklady komerčně dostupných funkčních mléčných výrobků. Upraveno podle Ortiz et al. (2017).

Značka	Druh výrobku	Uváděná účinná látka	Tvrzená zdravotní hodnota
Probiotika			
Activia	Jogurt	Bifidobacterium animalis DN-173, Bifidus regularis®, Bifidus activo®	Reguluje syndrom dráždivého tračníku
Actimel	Fermentované mléko	Lactobacillus casei defensis	Snižuje hladinu kortizolu a stresu
Yakult	Fermentované mléko	Lactobacillus casei Shirota	Prevence gastrointestinálních infekcí a zácpy
Vaalia Innergy	Jogurt	Lactobacillus rhamnosus GG	Prevence gastrointestinálních infekcí
DanActive	Fermentované mléko	Lactobacillus casei DN114001, Lactobacillus casei defensis®, Lactobacillus casei immunitas®	Posiluje imunitní systém
Prebiotika			
Orafti	Rozpustný prášek	Inulin/ oligofruktosa	Zlepšuje střevní flóru
Fibra con Regulaplus	Obohacené mléko	Rozpustná vláknina	Reguluje střevní tranzit a zabraňuje zácpě

Pokud jsou probiotické kmeny vybírány pro výrobu mléčných potravin, musí být před konzumací zachována zvýšená životaschopnost buněk (alespoň 6 log cfu/g neboli 1 000 000 KTJ, kolonie-tvořících jednotek/g), aby byly prospěšné pro zdraví, a nesmí být na úkor sensorických vlastností (např. textury, barvy, chuti).

Fermentovaná mléka se již dlouhou dobu používají jako hlavní nosiče probiotických kmenů. Méně často se pro zařazení probiotik používají sýry, které však mohou mít ve srovnání s fermentovanými mléky řadu výhod (Fortin et al. 2011; Minervini, Angelis, Gobbetti 2017). Sýr vytváří pufr proti kyselému prostředí GIT a vytváří vhodnější prostor pro přežívání probiotik během průchodu. Hustá matrice a relativně vysoký obsah tuku mohou navíc probiotikům poskytnout dodatečnou ochranu během tranzitu (Tamime et al. 2006). Tvarohové sýry (např. ricotta) mohou mít oproti jiným potravinám mnoho výhod, co se týká dodávání účinných probiotik, díky svému vyššímu pH, obsahu tuku a konzistenci v kombinaci s typicky nízkým obsahem kyslíku (Niro et al. 2013).

Dalšími nosiči, které by mohly být použity k dodávání probiotik, jsou zmrzlina a mražené mléčné dezerty. Tyto výrobky konzumují lidé všech věkových kategorií a díky jejich skladování při nízkých teplotách se zvyšuje životaschopnost probiotik (Cruz et al. 2009).

Studie od Sazawal et al. (2010) hodnotila účinnost přidání bakterie *Bifidobacterium lactis* a prebiotických oligosacharidů do mléka v prevenci dětských onemocnění (průjem, respirační infekce atd.). Dospěla k závěru, že mléko je vhodným médiem pro podávání prebiotik a

probiotik a vede k významnému snížení úplavice, respiračních a horečnatých onemocnění. Další studie od Matsumoto et al. (2010) sledovala vliv spotřeby fermentovaného mléčného nápoje, který obsahuje *Lactobacillus casei* kmen Shirota (LcS), na frekvenci defekace, střevní mikrobiotu a střevní prostředí. Výsledky studie naznačují, že probiotické fermentované mléčné nápoje mají kondiční účinek na střeva tím, že zlepšují frekvenci defekace, kvalitu stolice a zvyšují množství přirozených bifidobakterií ve stolici.

Probiotika dále produkují enzym β -galaktosidasu neboli laktázu, díky kterému mohou být užitečné v dietě lidí trpících laktosovou intolerancí. Laktáza štěpí laktosu na její frakce glukosu a galaktosu, čímž předchází jejich nežádoucím účinkům v tlustém střevě. Jelikož jsou mléko a mléčné výrobky významnými potravinami v lidské stravě, je taková intervence dobrým řešením. Nejčastěji používanými probiotiky jsou laktobacily obsažené v jogurtu, ale používají se i další druhy bakterií a kvasinky (Ibrahim, Gyawali 2013).

Přídavek probiotik do potravin může také pozitivně ovlivnit ostatní přítomné nutriční složky. Dostupné důkazy ukazují, že přidání probiotických bakterií do jogurtových kyselých kultur během procesu výroby jogurtu za podmínek fermentace zvyšuje i obsah folátů v jogurtu (Khalili et al. 2020).

3.3.4 Prebiotika

Gastrointestinální trakt, zejména tlusté střevo, je velmi silně osídlen bakteriemi. Bifidobakterie a laktobacily jsou považovány za prospěšné a jsou častým tématem v oblasti výživy (Manning, Gibson 2004). Bylo mnoho pokusů o nové vymezení pojmu "prebiotikum", nicméně současná přijímaná definice zůstává bližší pojmu, který Gibson a Roberfroid představili v roce 1995, jako "*prebiotika jsou nestravitelné složky potravy, které příznivě ovlivňují hostitele tím, že selektivně stimulují růst a/nebo aktivitu jednoho nebo omezeného počtu bakteriálních druhů, které již v tlustém střevě sídlí, a tím zlepšují zdraví hostitele*" (Gibson, Roberfroid 1995). Nestravitelnost prebiotických složek byla z pozdějších definic vyloučena. Aby však prebiotikum vyvolalo účinek na cílové místo v GIT, musí být buď nestravitelné, nebo částečně stravitelné (Kolida, Gibson 2011). Prebiotika jsou schopna projít kyselým prostředím v žaludku v neporušeném stavu, jsou odolná vůči vylučovaným enzymům a žluči a jsou schopna vytvářet selektivní prostředí v tlustém střevě. Dále fermentace prebiotik za vzniku mastných kyselin s krátkým řetězcem snižuje pH v tlustém střevě, čímž brání kolonizaci patogenních bakterií, jako je *Escherichia coli* (Ortiz et al. 2017).

3.3.4.1.1 Fortifikační prebiotika

Prebiotické vlákniny pocházejí z rostlin, jako je topinambur, kořen čekanky (zdroj inulinu), cibule, obiloviny, banány a česnek. Podle definice nejsou však šechny vlákniny považovány za prebiotika. Do této kategorie spadají pouze ty vlákniny, které jsou rozpustné ve vodě a tráví je střevní bakterie (tzv. rozpustné vlákniny), dále ty, které jsou ve vodě nerozpustné, ale v tlustém střevě fermentují, jako např. rezistentní škroby (Singla, Chakkaravarthi 2017). Většina prebiotik jsou podskupinou sacharidů a často se jedná o oligosacharidy (sacharidy složené z 2–10 monosacharidových podjednotek), ze kterých fruktooligosacharidy, galaktooligosacharidy a transgalaktooligosacharidy jsou nejčastěji používanými prebiotiky (Davani-Davari et al. 2019).

V rámci prebiotik ve funkčních potravinách se běžně používá laktulóza, galaktooligosacharidy, fruktooligosacharidy, inulin a jeho hydrolyzáty, maltooligosacharidy a rezistentní škrob (Al-Sheraji et al. 2013). Kromě trofické úlohy, kterou plní pro probiotické bakterie, prebiotika zvyšují vstřebávání vápníku a hořčíku, ovlivňují hladinu glukózy v krvi a zlepšují sensorické vlastnosti, jako je chuť a konzistence mléčných výrobků (Al-Sheraji et al. 2013; Minervini, Angelis, Gobbetti 2017).

3.3.4.1.2 Prebiotika v mléčných produktech

Mezi nejvýznamnější nosiče prebiotik patří jogurt. Funkční vlastnosti prebiotik v jogurtech a mléčných dezertech se neomezují pouze na zajištění výživy pro střevní mikroflóru, ale přispívají také ke struktuře a konzistenci, vláknině a náhradě cukru (Singla, Chakkaravarthi 2017). V Tabulce 8 jsou uvedené některé vybrané komerčně dostupné produkty obohacené prebiotiky.

Obecně se často používají směsi probiotik a prebiotik (synbiotika), aby se využily jejich synergické účinky při aplikaci do mléčných výrobků (Minervini, Angelis, Gobbetti 2017). Synbiotika, jako je Raftilose® P95 (na bázi oligosacharidů a *Lactocaseibacillus rhamnosus*, *Bifidobacterium* spp., *L. acidophilus* a *L. casei*), vykazovala lepší přežívání probiotických bakterií ve srovnání s přípravkem bez oligosacharidů (Capela, Hay, Shah 2006).

Některá prebiotika mohou tvořit gelovité struktury, čímž mohou zlepšit konzistenci potravin s nízkým obsahem tuku, aniž by měly negativní vliv na jejich chuť, např. přídavek inulinu jako náhrada tuku v nízkotučných sýrech. Tato vlastnost je také důležitá u výrobků, jako jsou mléčné pomazánky, smetanové sýry a tavené sýry, kde zachovávají emulzi s roztrátenou texturou (Al-Sheraji et al. 2013).

Některá prebiotika by mohla být použita ke zlepšení vlastností probiotických zmrzlin (Minervini, Angelis, Gobbetti 2017). Přídavek inulinu do zmrzliny zvyšuje životaschopnost bakterií *Lactobacillus acidophilus* a *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* (Akalin et al. 2007). Přídavek oligofruktózy do nízkotučné zmrzliny také zvýšil životaschopnost *L. acidophilus* La-5 a *B. animalis* ssp. *lactis* BB-12 (Akalin, Erişir 2008).

Dále přídavek prebiotik do kojenecké výživy je schopen zvýšit střevní kolonie bifidobakterií a laktobacilů a tato časná kolonizace prospěšných bakterií ve střevě má celoživotní účinky (Salvini et al. 2011).

3.3.5 Polynenasycené mastné kyseliny (PUFA)

Polynenasycené mastné kyseliny jsou mastné kyseliny (MK) s nejméně dvěma dvojnými vazbami. Pro lidskou výživu jsou důležité PUFA s dlouhým řetězcem (LC-PUFA), tj. řetězce s 18 uhlíky a delší. V závislosti na poloze první dvojný vazby od metylového konce molekuly se PUFA dělí na omega-3 (neboli ω -3 nebo n-3) a omega-6 (ω -6, n-6). (Buchwald-Werner et al. 2008). Kyselina linolová (C18:2, n-6) a kyselina linolenová (18:3 n-3) jsou definovány jako esenciální MK, tj. lidské tělo si je nedokáže vytvořit samo, ale musí je získat ze stravy. Studie potvrdily, že tyto mastné kyseliny jsou zdraví prospěšné, např. mají preventivní účinek vůči srdečním chorobám, cukrovce II. typu a vysokému krevnímu tlaku (Adinepour et al. 2022).

Zdroje PUFA pro obohacování potravin mohou zahrnovat specifické rostlinné oleje, jako je olej z pupalky dvouleté nebo lněný olej. Dobrým zdrojem je zejména rybí olej s vysokým

obsahem kyseliny eikosapentanové (EPA, C20:5 n-3) a/nebo kyseliny dokosahexanové (DHA, C22:6 n-3) (Buchwald-Werner et al. 2008). Pro lidi, kteří mají nízký příjem těchto esenciálních MK, mohou být vhodnou volbou obohacené potraviny. Zejména mléčné výrobky jsou vzhledem ke své oblíbenosti a široké spotřebě vhodnými kandidáty na obohacení těmito sloučeninami. Nicméně nepříjemný zápach a chuť zdrojů esenciálních MK, jako je rybí olej, lněný olej a olej z echia, jsou kromě jejich nízké biologické dostupnosti a citlivosti na oxidaci určitým omezením pro jejich přímé přidávání do mléčných výrobků. Řešením však může být jejich zapouzdření neboli enkapsulace (Adinepour et al. 2022), o které je více zmíněno v kapitole o technologii zpracování.

3.3.5.1 Konjugovaná kyselina linolová (CLA)

Konjugovaná kyselina linolová (CLA) označuje skupinu izomerů kyseliny linolové, které se nacházejí v masě a mléčných výrobcích přežvýkavců (Buchwald-Werner et al. 2008). Mají silný pozitivní vliv na lidské zdraví, jako např. imunomodulační, antikarcinogenní účinky a účinky vyrovnávající složení tělesného tuku. Nicméně je jejich příjem obvykle velmi nízký (Belury 2002). Existují dva biologicky aktivní izomery CLA: cis-9, trans-11 izomer, známý také jako bachorová kyselina (RA, ruminic acid), a trans-10, cis-12 izomer (Rodríguez-Alcalá, Fontecha 2007; Buchwald-Werner et al. 2008). Většina komerčně dostupných přípravků CLA se získává ze světlicového oleje a obsahují směs těchto dvou izomerů v poměru 50:50 (Buchwald-Werner et al. 2008).

Většina plnotučných mléčných výrobků obsahuje CLA v množství od 6 do 16 mg/g celkového obsahu tuku, přičemž by měl být příjem pro dospělého člověka kolem 3,0 g/den, aby se dosáhlo maximálního zdravotního přínosu (Rodríguez-Alcalá, Fontecha 2007). Studie o výrobcích obohacených CLA, včetně jejich chování během výroby a skladování, by podpořily vývoj strategií a zpracovatelských systémů, které by umožnily vyrábět výrobky obohacené CLA.

CLA se v USA a Evropě používá jako aktivní složka v doplňcích stravy. Ve Španělsku byly na trh uvedeny výrobky, jako je odstředěné mléko, jogurt a jogurtové nápoje, obohacené o CLA. Další aplikace jsou zahrnuty i v čerstvých sýrech (Buchwald-Werner et al. 2008).

Ve studii dle Rodríguez-Alcalá & Fontecha (2007) byl zkoumaný celkový obsah MK a složení izomerů CLA během zpracování a po skladování u mléka, fermentovaného mléka, jogurtu, čerstvého sýru a směsi mléka a džusu. Z celkových MK byly ve výrobcích přítomny převážně CLA cis-9, trans-11 a cis-10, trans-12 s vyváženým poměrem nasycených MK (SFA) ku PUFA. Studie dospěla k závěru, že celkový obsah CLA v těchto komerčně dostupných produktech se značně lišil, a to od 50–75 % v závislosti na přítomnosti mléčného tuku ve výrobcích.

3.3.5.2 Omega-3 mastné kyseliny

Tyto mastné kyseliny se získávají převážně z rybího tuku a v menší míře ze zeleniny, jako je kukuřice, slunečnice a sója. Omega-3 MK zahrnují esenciální MK, jako je EPA a DHA, které jsou nezbytné pro vývoj mozku a zdraví srdce. Mimo to omega-3 MK zlepšují funkci kardiovaskulárního systému a podílejí se na prevenci nádorových onemocnění a kontrole zánětlivých a imunitních onemocnění (Ortiz et al. 2017).

Tyto sloučeniny se používají ve velké míře v mlékárenském průmyslu při výrobě funkčních potravin, jako jsou tekuté mléko, jogurty, máslo, sýry a zmrzlina. Ačkoli se zpočátku vyskytovaly problémy s rybí chutí a vůní fortifikovaných výrobků, mikroenkapsulace tuto komplikaci úspěšně překonala (Ortiz et al. 2017).

Ve studii věnované fortifikaci rybím olejem bylo dosaženo nejvyšší úrovně fortifikace u tuhých mléčných výrobků s vysokým obsahem tuku, jako roztíratelné čerstvé sýry, máslo a tavené sýry (Kolanowski, Weißbrodt 2007).

Jiná studie úspěšně obohatila mléko lněným olejem jako zdrojem omega-3 MK (kyseliny α -linolenové) bez významných sensorických rozdílů ve srovnání s kontrolním mlékem. Jedna porce (240 g) obohaceného mléka poskytuje 0,68 g kyseliny α -linolenové, přičemž dvě porce by poskytovaly 85 % doporučeného množství (Nagarajappa, Battula 2017).

3.3.6 Bioaktivní peptidy

Bioaktivní peptidy jsou heterogenní třída sloučenin specifických fragmentů proteinů, které mají mnoho ochranných a biofunkčních vlastností (Ali et al. 2022). Tyto peptidy jsou tvořeny peptidovými řetězci 2 až 20 aminokyselin a jsou neaktivní v rámci sekvence výchozí bílkovinné molekuly. Mohou být uvolněny přirozeně působením hydrolytických enzymů (především trypsinu a pepsinu) v trávicím traktu při konzumaci mléčných výrobků (Ortiz et al. 2017). Bioaktivní peptidy se však uvolňují především při zpracování mléka a mléčných výrobků umělými metodami, jako jsou chemické procesy (alkalické nebo kyselé ošetření), fyzikální procesy (tepelné ošetření), hydrolytická aktivita proteáz, obvykle z mikrobiálních nebo rostlinných zdrojů, a fermentační procesy produkované různými kulturami, zejména BMK (Fitzgerald, Meisel 2003; Korhonen, Pihlanto 2006; Chryssanthopoulos, Maridaki 2010). Studie prokázaly, že konzumace bioaktivních peptidů má významný vliv na regulaci několika tělesných systémů, jako je nervový (opioidní peptidy), imunitní (antimikrobiální, cytomodulační a imunomodulační peptidy), kardiovaskulární (antihypertenzní, antitrombotické, antioxidační peptidy a peptidy inhibující angiotenzin konvertující enzym (ACE)) a gastrointestinální systém (peptidy sytosti a proti obezitě). (Ortiz et al. 2017; Ali et al. 2022).

Několik proteolytických kmenů BMK (např. *L. acidophilus*, *L. casei*, *L. delbrueckii*, *L. helveticus*, and *Lactococcus lactis*) se účinně využívá k hydrolyzaci kaseinů a uvolňování bioaktivních peptidů (Sadat-Mekmene et al. 2011). Antihypertenzní a antioxidační peptidy patří mezi nejvíce studované bioaktivní peptidy, vzhledem k nárůstu výskytu hypertenze v západních zemích (Minervini, Angelis, Gobbetti 2017).

3.3.7 Rostliny, ovoce a jejich extrakty

Začlenění vyššího množství ovoce a zeleniny do každodenní stravy je jedním z hlavních cílů veřejného zdraví. Zdravotní vlastnosti jsou úzce spjaty se složením mikroživin (vitaminů, karotenoidů a fenolických látek) v ovoci/zelenině. Složení se liší v závislosti na odrůdě, vyzralosti, posklizňových úpravách a podmínkách zpracování (Tagliabue 2017).

Rostliny je možné do mléčných výrobků přidávat v několika formách, tj. v čerstvé formě, ve formě džusu, koncentrátu, pyré a extrahované látky (např. polyfenoly) (Tagliabue 2017; Salehi 2021).

3.3.7.1 Ovocné a zeleninové preparáty

V mlékárenském průmyslu se ovoce a zelenina přidávají do bílého mléčného základu prostřednictvím ovocných nebo zeleninových přípravků. Ovocný přípravek obsahuje obvykle 50 až 60 % ovoce (kousky, šťávy, pyré), 20 až 30 % cukru, vodu (10 až 15 %), stabilizátory (např. škrob, pektiny), regulátory kyselosti, barviva a aromata. Může být také obohacen o vitaminy, vlákninu, prebiotika, fytosteroly, omega-3 MK a minerální látky, pro zlepšení výživové hodnoty výrobku (Tagliabue 2017). Mezi nejvíce používané příchutě přidávané do mléčných výrobků patří čokoláda, med, jahoda, třešeň, malina, ananas, jablko, pomeranč a banán. Protože většina těchto ovocných plodů obsahuje kyseliny, musí být přidány stabilizátory kompatibilní s danou kyselinou. Zajímavým poznatkem je, že přídatek terpineolu, esenciálního oleje z pomerančové kůry, zpomaluje růst bakterií a prodlužuje trvanlivost mléka. Také přídatek vitamínu C z pomerančů a dalších citrusových plodů zabráňuje vzniku oxidované chuti v mléce (Campbell, Marshall 2016b). Některé vybrané používané rostlinné látky a jejich účinek na zdraví jsou znázorněny v Tabulce 9.

Přestože mají mnoho zdravotních účinků a jejich používání je zakořeněno v tradici, jejich použití je v současné době poněkud problematické, a to vzhledem k nedostatku pevně daného regulačního rámce. Zatímco v několika zemích, jako např. v Latinské Americe, Austrálii a Kanadě, existují povolené nebo zakázané seznamy pro použití těchto složek, v Evropě je proces hodnocení tvrzení o rostlinných látkách stále ve vývoji (Donati 2017).

Tabulka 9: Rostlinné látky v mléčných výrobcích a jejich potenciální účinky na zdraví. Upraveno podle Donati (2017).

Potenciální účinek	Rostlinná látka
Antioxidační Protizánětlivý/zdraví kloubů	Acerola, granátové jablko, červené hrozny, zelený čaj, rajčata, borůvky, brusinky, acai, rozmarýn, maqui, kurkuma, olivy (listy).
Kardiovaskulární zdraví	Kurkuma
Zdraví trávicího traktu	Granátové jablko, olivy (listy), kakaový extrakt, rajčata
Energie	Kurkuma, meduňka, heřmánek, máta
Regulace stresu/mentální koncentrace	Meduňka, heřmánek, ženšen, borůvky, passiflora

3.3.7.2 Rostlinné steroly

Pomazánky byly první výrobky obohacené o rostlinné steroly. Schválení mléčných výrobků, sójových nápojů a dresinků v roce 2004 otevřelo trh pro přidávání sterolů do dalších produktů v EU. Například one-shot mléčné nápoje obsahující steroly se prodávají v baleních po čtyřech 100 g lahvích, přičemž každá láhev obsahuje 2,7 g esterů rostlinných sterolů. Kromě toho jsou steroly obohaceny také výrobky, jako jsou jogurty, mléko, sušené mléko a smetanové sýry (Buchwald-Werner et al. 2008).

3.3.7.3 Polyfenoly

Polyfenoly tvoří velkou skupinu sekundárních rostlinných produktů. Jejich polyfenolická povaha, tj. hydroxylové skupiny, z nich činí velmi účinné antioxidanty. Kromě toho mají polyfenoly protizánětlivé účinky a mohou modulovat aktivitu různých enzymů (Buchwald-Werner et al. 2008; Cutrim, Cortez 2018).

Polyfenolické látky, převážně rostlinné extrakty, byly v nedávných studiích rozsáhle zkoumány jako funkční přídatné látky do potravin. Nicméně v jejich volné formě mohou mít omezenou rozpustnost ve vodě a potenciální vliv na fyzikálně-chemické vlastnosti finálního výrobku (Cutrim, Cortez 2018). Příkladem je extrakt ze zeleného čaje, který má silně hořkou chuť (Buchwald-Werner et al. 2008). Aby se zabránilo degradaci, ztrátám a nepříjemné chuti přidaných sloučenin, lze využít potravinářských aplikací jako je enkapsulace (Cutrim, Cortez 2018).

Rostlinné extrakty obsahující polyfenoly se používají v celé řadě potravinářských produktů, včetně mléčných výrobků a různých druhů nápojů. Dále jogurty a sýry, jsou dobrými prostředky díky své konzistenci, dobře známému výrobnímu procesu a vysoké každodenní spotřebě (Cutrim, Cortez 2018). Také formulace "smoothies", které lze definovat jako nápoje i mléčné výrobky jsou další prostředkem obohacení. Nejoblíbenějším rostlinným extraktem pro toto použití je extrakt ze zeleného čaje následovaný čajem rooibos. V mléčných výrobcích se poměrně často objevuje také aloe vera (Buchwald-Werner et al. 2008). V Tabulce 10 jsou uvedeny některé novější formulace mléčných výrobků s přidavkem volných nebo enkapsulovaných polyfenolů.

Tabulka 10: Přehled některých novějších aplikací polyfenolů v mléčných výrobcích. Upraveno podle Cutrim & Cortez (2018).

Mléčný výrobek	Polyfenolická látka
Sýr	Katechin, kyselina tříslová, kyselina homovanilová, hesperetin, epigalokatechin galát, 2-fenylchromon, extrakty z celých hroznů a zeleného čaje, dehydratovaná brusinková šťáva v prášku
Jogurt	Výtažky z odrůd révy vinné (Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Syrah a Merlot) a z kalusů révy vinné
Plnotučný a odtučněný jogurt	Výtažky ze semen hroznů Agiorgitiko a Moschofilero
Jogurtový nápoj	Extrakt z černého rybízu, chlorid kyanidin 3-o-b-glukopyranosidu
Čedar sýr	Extrakt ze zeleného čaje
Probiotický jogurt	Extrakt ze zeleného, bílého a černého čaje

3.4 Technologické zpracování

Mezi výhody fortifikace oproti suplementaci patří vyšší udržitelnost, přijatelnost pro spotřebitele, lepší nákladová efektivita a jednodušší technologie (Bhutta et al. 2013).

3.4.1 Zpracování

Způsob přidávání, hlavně forma a čas přidání, může mít velký vliv na stabilitu. V ideálním případě by chemická forma a čas začlenění měly zajistit rovnoměrnost distribuce a maximální stabilitu ve výrobku. Při výběru by se měly zohlednit faktory, jako jsou chemické a fyzikální vlastnosti živin, povaha potravinářského prostředí – např. suché nebo vlhké – a způsob, jakým se bude s potravinou po přidání manipulovat. V některých potravinových systémech může být nezbytné přidat živinu v ochranném nosiči nebo povlaku (mikroenkapsulace), aby se zabránilo její degradaci nebo ztrátám během zpracování nebo skladování (Ottaway 2008).

3.4.1.1.1 Mikroenkapsulace

Pro zlepšení stability přidávaných látek byla vyvinuta řada různých technologií. Jednou z nejvýznamnějších metod je mikroenkapsulace. Při mikroenkapsulaci dochází k zapouzdření látky bariérou, aby se zamezily jeho reakce s jinými látkami a/nebo aby došlo k řízenému uvoňování látky (Wilson, Shah 2007). V potravinářství se využívá např. k zabránění oxidace, zamaskování chuti nebo pachu, prodloužení skladovatelnosti nebo k dosažení uniformní velikosti částic pro rovnoměrnou distribuci při přidání do výrobku (Adinepour et al. 2022). Existuje několik metod pro enkapsulaci mikronutrientů, ale žádná metoda není universální pro všechny látky a do všech médií (potravin). Tabulka 11 uvádí nejčastěji používané metody v potravinářství a mikronutrienty, na které se aplikují.

Tabulka 11: Metody enkapsulace vybraných látek. Upraveno podle Wilson a Shah (2007).

Enkapsulační metoda	Mikronutrient
Sprejové sušení	Vitamíny, aromata, zákysové kultury, karotenoidy, tuky a oleje
Sprejové chlazení	Síran železnatý, vitamíny, minerály
Extruze	Vitamin C, aromata, barviva
Vířivé (fluidní) opláštění	Vitamin C, kyselina citronová, kyselina mléčná, kyselina sorbová
Obalení v lysozomu	Enzymy a vitamíny
Koacervace	Vitamin A

3.4.1.2 Vitaminy

Ve vodě rozpustný vitamin C a vitaminy skupiny B jsou za pokojových podmínek práškové, a proto se s nimi při výrobě většiny mléčných výrobků poměrně snadno pracuje. Vitamíny rozpustné v tucích se však vyskytují buď ve formě oleje nebo krystalů, což může při výrobě některých druhů mléčných výrobků způsobit technologické potíže (Sumit 2011).

Mezi hlavní problémy patří jejich omezená stabilita při vyšších teplotách a v přítomnosti vlhkosti a kyslíku (Sumit 2011; Ottaway 2008). Z vitaminů rozpustných ve vodě jsou méně stabilní vitamin C, kyselina listová, vitamin B6 a vitamin B12. Zatímco u vitaminů rozpustných v tucích jsou nejméně stabilní vitaminy A, D a E (Sumit 2011).

Stabilizace vitaminů rozpustných v tucích se většinou provádí mikroenkapsulací, přičemž se z nich vyrábí prášek, se kterým se mnohem lépe manipuluje, a který se mísí s jinými suchými fortifikanty (minerály, vitamíny rozpustné ve vodě) (Sumit 2011). Některé termolabilní

sloučeniny, např. vitamín C, D a thiamin, lze nastříkat na hotový výrobek, místo toho, aby byly integrovány během zpracování (Ottaway 2008).

Pokud se do potravin přidávají dva nebo více vitaminů ve stejné výrobní fázi, dochází k tomu běžně ve formě premixu nebo směsi. Premix je homogenní směs vitaminů v suché práškové formě, zatímco směs je totéž pro vitaminy rozpustné v tucích, ale v olejové formě. Premix se může skládat jak z vitaminů rozpustných ve vodě, tak z vitaminů rozpustných v tucích, ale v takovém případě musí být vitaminy rozpustné v tucích mikroenkapsulovány (Sumit 2011).

Vitamíny lze přidávat při několika fázích technologického procesu, ale nejlépe po odstředění. Mezi tato stanoviště patří pasterizační kád', nádrž s konstantní hladinou HTST (vysoká teplota, mžikový čas pasterace) nebo průběžně do potrubí po standardizaci a před pasterací. Lze použít přidávání po dávkách nebo kontinuálně pomocí dávkovacích čerpadel (Campbell, Marshall 2016b).

3.4.1.3 Minerální látky

Výběr vhodného minerálního fortifikantu (železo, vápník atd.) je založen na jeho organoleptických vlastnostech, biologické dostupnosti, ceně a bezpečnosti. Zejména ve vodě rozpustné sloučeniny železa často vedou ke změnám v barvě a chuti v důsledku reakcí s jinými složkami potravin. Některým z těchto interakcí lze předejít enkapsulací fortifikantu. Sloučeniny rozpustné ve vodě mají vynikající biologickou dostupnost, zatímco biologickou dostupnost nerozpustných nebo velmi špatně rozpustných sloučenin železa lze zlepšit redukováním velikosti částic. Problém nízké biologické dostupnosti se také často obchází použitím látek zvyšujících absorpci, jako je kyselina askorbová, síran sodný a kyselina ortofosforečná, které se přidávají spolu s fortifikantem (Sumit 2011).

Pro obohacování mléka a mléčných výrobků minerálními látkami se používají tři typy sloučenin: minerální soli (rozpustné), elementární minerály a minerály v rámci bílkovin. Nejběžněji se používají minerální soli. Tyto soli, které mají dva oxidační stavy (např. Fe +2, Fe +3, Zn +2, Zn +3), jsou zcela rozpustné ve vodě a v mléce. Elementární minerální soli (např. elementární železo) se získávají redukcí vodíkem nebo oxidem uhelnatým, elektrolýzou nebo karbonylovým procesem. Tyto sloučeniny jsou prášky s různou velikostí částic, jsou špatně rozpustné nebo nerozpustné ve vodě a jsou chemicky nereaktivní. Protože je tato forma minerálu nerozpustná v nepolárních kapalinách, používají se pouze k obohacování pevných dehydratovaných potravin. V rámci bílkovin vytváří minerální látky komplexy s kaseinovými a syrovátkovými bílkovinami nebo s fosfopeptidy (kaseinfosopeptid (CPP)), které tvoří např. komplexy CPP-Zn. Dále se železo váže na aminokyseliny, jako je fosfoserin, aspartát a glutamát (Ocak, Rajendram 2013). Díky těmto komplexům s bílkovinami a peptidy se zvyšuje biologická dostupnost použitých minerálů. Například bisglycanát železnatý (chelát železa) může dosahovat až čtyřikrát vyšší vstřebatelnost než síran železitý (Sun et al. 2020). Kromě toho byly vyvinuty lipidové mikrokapsle síranu železnatého, samotné nebo s kyselinou askorbovou, k obohacování sýrů a jiných potravin s vysokým obsahem vlhkosti (Ocak, Rajendram 2013).

Mléko a mléčné výrobky jsou také obohaceny řadou dalších minerálních solí (Ca, Mg, P, Zn, Cu, Mn). Při výběru minerálních sloučenin se především zohledňuje jejich reaktivita a

rozpuštěnosti. Problémům se změnou chuti, konzistence a barvy se dají předejít použitím metod mikroenkapsulace nebo také přidávkem stabilizátorů a emulgátorů (Sumit 2011).

3.4.1.4 Mléko

Technologie obohacování mléka je relativně jednoduchá a není zapotřebí žádného dodatečného vybavení nebo ji lze provádět s malými úpravami ve výrobním systému (Sumit 2011). Při výrobě mléka se většinou odstraňuje smetana. Spolu se smetanou se odstraňuje i velká část vitaminů rozpustných v tucích, a proto se při obohacování mléka běžně přidávají vitaminy A a D (FAO 1996).

Obohacování minerálními látkami/vitaminy lze provádět v několika fázích výroby. Tekuté mléko se obvykle fortifikuje před pasterací nebo ošetřením UHT. Homogenizace je nezbytná pro olejové přípravky s vitamíny. Přidání vitaminové směsi před homogenizací usnadňuje rovnoměrné promíchání (FAO 1996). Běžný postup spočívá v tom, že se nejprve homogenizuje podíl mléka s premixem olejových vitaminů. Tato obohacená směs se poté smíchá s velkým množstvím tekutého mléka, do kterého již byl přidán premix ve vodě rozpustných vitaminů a minerálních látek. Směs se následně promíchá, pasteruje, homogenizuje a před balením se ochladí (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018). Obvykle se praktikují dva způsoby přidávání, tj. šaržový proces pro malé provozy a dávkované přidávání pro kontinuální proces. Standardem v provozech s kontinuálním procesem je dávkované přidávání vitaminového přípravku proti toku do homogenizátoru (Sumit 2011).

U vitaminů, které jsou citlivé na oxidaci (vitamin D a A), je důležité opatrné míchání, aby došlo k provzdušňování a jejich degradaci (FAO 1996).

3.4.1.5 Sušené mléko

Při obohacení sušeného mléka se přidávají práškové vitaminové směsi do sušeného mléka nebo do tekutého mléka těsně před sprejovým sušením (FAO 1996). Vitaminy lze přidávat buď v olejové formě do podílu tekutého odstředěného mléka, které se poté homogenizuje a suší rozprašováním, nebo jako součást suchého vitaminového a minerálního premixu přímo do suchého odstředěného mléka. Sušené mléko lze obohatit buď před tepelným ošetřením, nebo po něm (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018). Účinného promíchání je nejlépe dosaženo ve dvou krocích: počáteční zředění vitaminové směsi vhodným množstvím sušeného mléka a následné promíchání do sytké směsi. Důležité je zohlednit velikost a hustotu částic, aby se zabránilo oddělování složek při skladování (FAO 1996). Pokud se používají směsi, jsou přidávány přímo do mléka a před sprejovým sušením je provedena homogenizace. Pokud se vitaminy přidávají před sprejovým sušením, je nutné přidat větší množství, než bude ve finálním produktu, aby se vyrovnaly ztráty při zpracování (Sumit 2011).

3.4.1.6 Kojenecká výživa

Obsah minerálních látek v kravském mléce je velmi variabilní. Pro kontrolu této rozdílnosti byly přizpůsobeny výrobní metody. Zahrnují operace, které odstraňují většinu minerálních látek. Během tohoto procesu se ztrácejí i některé vitaminy a další složky mléka. Mezi používané technologie patří iontová výměna, ultrafiltrace, elektrodialýza, reverzní osmóza a gelová filtrace. Následně se znovu přidávají minerální sloučeniny v požadovaném množství (Sumit 2011).

Přestože se v receptuře zohledňuje přirozený obsah vitamínů v použitých ingrediencích, většina vitamínů se do výživy přidává. Komise Codex Alimentarius (FAO/WHO, 1994) zveřejnila doporučující seznam minerálních solí a vitaminových sloučenin, které lze přidávat do formulí (Sumit 2011). Ve vodě rozpustné vitaminy a minerály se před přidáním do mléka nejdříve rozpustí v teplé vodě a v tučných rozpustné vitaminy se musí rozpustit v oleji před přidáním do mléčné směsi. Směs se potom zahušťuje a suší (Claro da Silva, Jannatul Ferdaus 2023).

3.4.1.7 Fermentované mléčné výrobky

Fermentované mléčné výrobky se nejčastěji fortifikují probiotiky a prebiotiky. Dále ovoce a zelenina jsou častými přísadami jako ochucovadla a zdroje antioxidantů. Nicméně, jejich přísádek může ovlivnit texturu, pH, kyselost, synerzi, schopnost zadržovat vodu a stabilitu jogurtu. Změny těchto vlastností také závisí na koncentraci použité ovocné/zeleninové složky, kdy vyšší koncentrace mají větší vliv (Ahmad et al. 2022).

Přísádek vitamínů rozpustných ve vodě se provádí nejlépe v enkapsulované formě, hlavně ze sensorických důvodů. Při obohacení se železem, nedochází k významným organoleptickým změnám (ve vzhledu, konzistenci, chuti ani celkové kvalitě). K určitým ztrátám vitamínů může dojít v důsledku metabolismu mikroorganismů během fermentace (Sumit 2011).

3.4.1.8 Zmrzlina

V případě zmrzliny není nutno překonávat žádné technologické obtíže, jelikož výroba není pro vitaminy značně destruktivní (FAO 1996). Vitamíny se do směsi přidávají ve formě prášku. Vzhledem k tomu, že šlehání a následné provzdušňování směsi probíhají při teplotách kolem bodu mrazu, jsou oxidační ztráty vitamínů minimální. K největším ztrátám dochází během pasterace zmrzlinové směsi (Sumit 2011).

3.4.2 Jakostní a bezpečnostní požadavky

Při fortifikaci je důležité si uvědomovat technologické a bezpečnostní limity. Technologický limit je definován jako nejvyšší možná úroveň přísádku mikroživin, která nezpůsobuje nepříznivé organoleptické změny ve složení potraviny. Účinky přísádků mikroživin na organoleptické vlastnosti zvoleného potravinového nosiče musí být testovány v rané fázi a v případě potřeby musí být použity alternativní formy obohacující látky. Bezpečnost fortifikace lze posoudit porovnáním předpokládaného příjmu mikroživin (zejména příjmu při vyšších úrovních fortifikace a při vyšší spotřebě fortifikovaných potravin) s horním limitem. I v případě, že mikronutrient nemá doporučený horní limit, je třeba vyvarovat se vysokým dávkám přísádků mikroživin, zejména pokud neexistují důkazy o odvozeném prospěchu z dávek přesahujících RNI (referenční příjem živin) (Allen et al. 2006).

3.5 Druhy fortifikace

Fortifikace může být klasifikována podle zákonné povinnosti na povinnou nebo dobrovolnou. Dalším rozdělením je podle obohacené potraviny na hromadnou (univerzální) a cílenou fortifikaci.

3.5.1 Povinná fortifikace

Povinná fortifikace nastává, kdy vlády zákonem nařídí výrobcům potravin obohacovat určité potraviny nebo kategorie potravin o určité mikroživiny. Tato strategie se obvykle používá v případech, že populace (buď obecná nebo určitá skupina populace) je ohrožena nebo již trpí nedostatkem mikroživin (Ewen, Vatanparast 2013). Povinná fortifikace je součástí potravinového zákona, obvykle ve formě nařízení, které stanoví zákonné minimum (případně maximum) v dané potravíně nebo kategorii potravin (Allen et al. 2006).

V rámci mléčných výrobků je příkladem povinná fortifikace vitamínem D. Povinná fortifikace mléka vitamínem D není široce rozšířená, ale uplatňuje se v současné době např. v Kanadě, kde poskytuje 44 % denní doporučené dávky na 1 porci (250 ml) (Lawrence 2013). V Evropě se uplatňuje ve Finsku a Švédsku (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018). V současné době je obohacování mléka nařízeno ve 14 zemích, z nichž 11 zemí obohacuje mléko vitamínem A i D (Olson et al. 2021). Podrobné informace jsou uvedené v Tabulce 11.

Tabulka 12: Vybrané země s povinnou fortifikací mléka. Upraveno podle Venkatesh Mannar & Hurrell (2018).

Země	Druh mléka	Přidaná látka
Brazílie	Sušené odstředěné mléko	Vitamin D, A
Kanada	Plnotučné, odstředěné, odpařené mléko	Vitamin D, A, C
Kostarika	Všechna mléka	Vitamin A, B9, Fe
Mexiko	Mléko pasterované, UHT, sterilované, odpařené	Vitamin D, A
USA	Obohacené odstředěné sušené mléko (rekonstituované), odpařené	Vitamin D, A
Finsko	Tekuté mléko	Vitamin D
Švédsko	Nízkotučné mléko	Vitamin D
Čína	Mléko, tekuté mléko	Vitamin D, A, Ca
Thajsko	Slazené zahuštěné mléko	Vitamin A

3.5.2 Dobrovolná fortifikace

Dobrovolná fortifikace se řídí se hlavně podle požadavků trhu a poptávky (Allen et al. 2006). Proces obohacování potravin je dobrovolným rozhodnutím výrobce, za podmínky, že musí splňovat vládní nařízení a normy o přidavku jednoho nebo více mikroživin do potravinového produktu. (Olson et al., 2021)

Zatímco povinné programy fortifikace vitamínem D nejsou běžné, dobrovolné programy jsou poměrně rozšířené. Mezi potraviny, které jsou nejčastěji dobrovolně obohacovány patří mléko, jogurty, sýry, ovocné šťávy a snídaně cereálie (Lawrence 2013). Například v USA jsou vitamínem D kromě mléka dobrovolně obohacovány také jogurty, máslo, margarín a sýry (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018). Kostarika kromě vitamínu A a D obohacuje mléko železem a kyselinou listovou a Čína a Kanada také přidávají vápník (Olson et al. 2021).

3.5.3 Hromadná fortifikace

U hromadné neboli univerzální fortifikaci jsou obohacovány potraviny, které jsou běžně konzumovány většinou populace (Ewen, Vatanparast 2013). Tento typ fortifikace je obvykle prováděn státem, ale může být i dobrovolný. Obvykle se používají potraviny, které pravidelně konzumuje velká část populace, mezi nimiž jsou nejčastější obiloviny, mléko a koření (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018). Například Kostarika prokázala, že národní program obohacování sušeného mléka a kukuřičné mouky železem výrazně snížil výskyt anémie u žen a dětí (Martorell et al. 2015).

3.5.4 Cílená fortifikace

Při cílené fortifikaci se fortifikují konkrétní potraviny pro určitou populaci. Cílové skupiny jsou ty, které jsou nejvíce ohroženy nedostatkem mikroživin. Tyto typy programů se běžně vyskytují v rozvojových zemích. Obohacují se například potraviny, které běžně konzumují děti, jako je čokoládové mléko (Ewen, Vatanparast 2013), nebo kojenecká výživa, která jsou obohaceny o řadu minerálů a vitaminů (Allen et al. 2006).

3.6 Legislativa

S rostoucí popularitou obohacování živinami z řady důvodů nastává otázka regulace těchto technologií.

3.6.1 Národní potravinové zákony a fortifikace

Potravinové zákony, které fungují v součinnosti s širším systémem kontroly potravin, jsou běžným mechanismem, který vlády používají ke stanovení technických předpisů pro obohacené potraviny, z nichž nejdůležitější se týkají jejich složení, označování a tvrzení (tvrzení, která výrobci uvádějí, aby informovali spotřebitele o svých výrobcích). Potravinové zákony mají obvykle řadu funkcí, kdy opatření pro ochranu veřejného zdraví je jedním nejpodstatnějších (Allen et al. 2006).

3.6.2 Evropská unie

Všechny přídatné látky v EU musí být povoleny a uvedeny s podmínkami použití v seznamu povolených aditiv EU. Tento seznam v současné době zahrnuje více než 300 látek. Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) vyhodnotil bezpečnost většiny z nich, zatímco zbytek byl posouzen Vědeckým výborem pro potraviny Evropské komise před zřízením úřadu EFSA. (European Commission 2024a) (EFSA 2024).

Mezi živiny nebo složky přidávané do potravin za účelem jejich obohacení patří mimo jiné: vitamíny, minerální látky včetně stopových prvků, aminokyseliny, esenciální mastné kyseliny, vláknina a různé rostliny a bylinné extrakty (European Commission 2024b). Seznam všech potravinářských přídatných látek povolených v EU, jejich čísla E a podmínky použití lze získat prostřednictvím databáze potravinářských přídatných látek Evropské komise (European Commission 2024).

Evropská směrnice o doplňcích stravy (2002/46), přijatá v roce 2002, představuje první krok ve vývoji celoevropského harmonizovaného právního rámce upravujícího výrobu, označování, kvalitu a uvádění doplňků stravy na trh. Upravuje doplňky stravy jako zvláštní kategorii v rámci potravinového zákona (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018). Od července 2007 se zavedlo zvláštní nařízení (ES) č. 1925/2006 o přidávání vitaminů a minerálních látek a některých dalších látek do potravin a je tak hlavním předpisem pro fortifikaci potravin. Obsahuje seznam vitaminů a minerálních látek (později doplněný o další látky), které mohou být přidávány do potravin, jejich zdroje a seznam látek jiných než vitaminy nebo minerální látky. Také obsahuje látky, jejichž použití v potravinách je zakázáno, omezeno nebo prověřováno. Nařízení dále stanovuje minimální a maximální množství vitaminů a minerálních látek výrobcích (European Commission 2024b).

Nicméně implementace regulace obohacených výrobků se ukázala jako náročný a zdoluhavý proces. Jedním z hlavních důvodů je fragmentace legislativy v 27 členských státech, kde se na tyto produkty vztahují různé regulace, ať už v rámci potravinového zákona, léčivých přípravků, nebo v rámci nově vytvořených kategorií (např. přírodní léčivé přípravky). Tyto odlišné pohledy na problematiku vedou k různým způsobům schvalování a monitorování těchto produktů v jednotlivých zemích. V některých státech neexistují žádné regulace ani omezení, zatímco v jiných je nutné produkty před uvedením na trh notifikovat a získat povolení (Venkatesh Mannar, Hurrell 2018).

4 Závěr

Vzhledem k vzrůstajícímu zájmu o potraviny s přidanou nutriční hodnotou, jsou mléko a mléčné výrobky atraktivními produkty, a to hlavně díky jejich dostupnosti a rozšířené konzumaci. Tato bakalářská práce se zabývala konkrétními mikroživinami, které se do mléčných výrobků přidávají, a dále jejich technologickými aspekty. Práce byla hlavně zaměřena na minerální látky, které jsou nejčastěji využívány při fortifikaci potravin, jako jsou železo, zinek a vápník. Z vitamínů jsou pro fortifikaci nejvýznamnějšími vitamín D, A, C a vitaminy skupiny B. Dále byla probírána problematika v oblasti obohacování (fortifikace) jinými nutrienty, jako jsou probiotika a prebiotika, mastné kyseliny, zejména polynenasycené mastné kyseliny, bílkoviny a peptidy a široká škála rostlinných extraktů.

Práce vyhodnotila současné trendy a aplikace jednotlivých přidaných složek a jejich technologické zpracování spolu s případnými problémy, které by mohly nastat, jako jsou senzorické a technologické změny. Dále byly popsány různé druhy obohacování mléčných výrobků, jejich výhody a nevýhody a praktické využití.

Poslední kapitola je věnována legislativním požadavkům. Je důležité podotknout, že obohacování mléčných výrobků by mělo vždy probíhat v souladu s platnou legislativou, která popisuje povolené a zakázané přídavné látky a u určitých mikroživin i minimální a maximální dávkování.

Závěrem této práce je, že obohacené mléčné výrobky představují významný trend v potravinářském průmyslu. Nabízí širokou škálu produktů s přidanou hodnotou, které mohou pozitivně ovlivnit zdraví spotřebitelů. Obohacování mléka a mléčných výrobků o mikroživiny má velký potenciál v boji proti deficiencím mikronutrientů, které jsou stále častějším problémem, a to jak v rozvinutých, tak i v rozvojových zemích.

5 Literatura

ACOSTA, N.B. et al., 2020. Milk fortified with calcium: Changes in the physicochemical and rheological characteristics that affect the stability. *LWT*. Vol. 134, p. 110204. DOI 10.1016/j.lwt.2020.110204.

ADINEPOUR, Fateme et al., 2022. Fortification/enrichment of milk and dairy products by encapsulated bioactive ingredients. *Food Research International*. Vol. 157, p. 111212. DOI 10.1016/j.foodres.2022.111212.

ADOLPHI, Berit et al., 2009. Short-term effect of bedtime consumption of fermented milk supplemented with calcium, inulin-type fructans and caseinphosphopeptides on bone metabolism in healthy, postmenopausal women. *European Journal of Nutrition*. Vol. 48, no. 1, pp. 45–53. DOI 10.1007/s00394-008-0759-y.

AHMAD, Ishtiaq et al., 2022. Fortification of yogurt with bioactive functional foods and ingredients and associated challenges - A review. *Trends in Food Science & Technology*. Vol. 129, pp. 558–580. DOI 10.1016/j.tifs.2022.11.003.

AKALIN, A.S. and ERIŞİR, D., 2008. Effects of Inulin and Oligofructose on the Rheological Characteristics and Probiotic Culture Survival in Low-Fat Probiotic Ice Cream. *Journal of Food Science*. Vol. 73, no. 4. DOI 10.1111/j.1750-3841.2008.00728.x.

AKALIN, A.S. et al., 2007. Occurrence of conjugated linoleic acid in probiotic yoghurts supplemented with fructooligosaccharide. *International Dairy Journal*. Vol. 17, no. 9, pp. 1089–1095. DOI 10.1016/j.idairyj.2007.02.005.

ALI, Md. Aslam et al., 2022. Functional dairy products as a source of bioactive peptides and probiotics: current trends and future prospectives. *Journal of Food Science and Technology*. Vol. 59, no. 4, pp. 1263–1279. DOI 10.1007/s13197-021-05091-8.

ALLEN, Lindsay et al., 2006. *Guidelines on food fortification with micronutrients* [online]. Retrieved from: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43412/9241594012_eng.pdf;jsessionid=729506E9C72FF102F759CB06AD822C04?sequence=1 [accessed 14 March 2024].

AL-SHERAJI, Sadeq Hasan et al., 2013. Prebiotics as functional foods: A review. *Journal of Functional Foods*. Vol. 5, no. 4, pp. 1542–1553. DOI 10.1016/j.jff.2013.08.009.

AMIRI, Saber et al., 2019. Exopolysaccharides production by *Lactobacillus acidophilus* LA5 and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB12: Optimization of fermentation variables and characterization of structure and bioactivities. *International Journal of Biological Macromolecules*. Vol. 123, pp. 752–765. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2018.11.084.

ANDREWS, J. Craig, BURTON, Scot and KEES, Jeremy, 2011. Is Simpler Always Better? Consumer Evaluations of Front-of-Package Nutrition Symbols. *Journal of Public Policy & Marketing*. Vol. 30, no. 2, pp. 175–190. DOI 10.1509/jppm.30.2.175.

ANKAR, Alex and KUMAR, Anil, 2024. *Vitamin B12 Deficiency*.

ARGOV, Nurit, LEMAY, Danielle G. and GERMAN, J. Bruce, 2008. Milk fat globule structure and function: nanoscience comes to milk production. *Trends in Food Science & Technology*. Vol. 19, no. 12, pp. 617–623. DOI 10.1016/j.tifs.2008.07.006.

BELLOWS, L. and MOORE, R., 2012. Water-Soluble Vitamins: B-Complex and Vitamin C. *Food and Nutrition Series. Health* [online]. Retrieved from: <https://extension.colostate.edu/docs/foodnut/09312.pdf> [accessed 27 March 2024].

BELURY, Martha A., 2002. Inhibition of Carcinogenesis by Conjugated Linoleic Acid: Potential Mechanisms of Action. *The Journal of Nutrition*. Vol. 132, no. 10, pp. 2995–2998. DOI 10.1093/jn/131.10.2995.

BENAVIDES-LARA, Adriana et al., 2023. Integrated surveillance strategy to support the prevention of neural tube defects through food fortification with folic acid: the experience of Costa Rica. *Child's Nervous System*. Vol. 39, no. 7, pp. 1743–1754. DOI 10.1007/s00381-023-05837-z.

BHUTTA, Zulfiqar A et al., 2013. Evidence-based interventions for improvement of maternal and child nutrition: what can be done and at what cost? *The Lancet*. Vol. 382, no. 9890, pp. 452–477. DOI 10.1016/S0140-6736(13)60996-4.

BUCHWALD-WERNER, S. et al., 2008. Fortification with substances other than vitamins and minerals (polyphenols, carotenoids, fatty acids and phytosterols). In: OTTAWAY, Peter Berry (ed.), *Food Fortification and Supplementation: Technological, Safety and Regulatory Aspects*, pp. 41–59. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.

CALVO, Mona S, WHITING, Susan J and BARTON, Curtis N, 2004. Vitamin D fortification in the United States and Canada: current status and data needs. *The American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 80, no. 6, pp. 1710S-1716S. DOI 10.1093/ajcn/80.6.1710S.

CAMPBELL, John R. and MARSHALL, Robert T., 2016a. Processing Milk and Milk Products. In: *Dairy Production & Processing*, pp. 369–393. ISBN 1-4786-1120-0.

CAMPBELL, John R. and MARSHALL, Robert T., 2016b. Fluid Milk and Related Products. In: *Dairy Production & Processing*, pp. 407–421. Waveland Press, Inc. ISBN 1-4786-1120-0.

CAPELA, P., HAY, T.K.C. and SHAH, N.P., 2006. Effect of cryoprotectants, prebiotics and microencapsulation on survival of probiotic organisms in yoghurt and freeze-dried yoghurt. *Food Research International*. Vol. 39, no. 2, pp. 203–211. DOI 10.1016/j.foodres.2005.07.007.

CASHMAN, Kevin D. and O'NEILL, Colette M., 2024. Strategic food vehicles for vitamin D fortification and effects on vitamin D status: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*. Vol. 238, p. 106448. DOI 10.1016/J.JSBMB.2023.106448.

CASHMAN, Kevin D et al., 2016. Vitamin D deficiency in Europe: pandemic? *The American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 103, no. 4, pp. 1033–1044. DOI 10.3945/ajcn.115.120873.

CAYOT, Philippe, GUZUN-COJOCARU, Tatiana and CAYOT, Nathalie, 2013. Iron Fortification of Milk and Dairy Products. In: *Handbook of Food Fortification and Health*, pp. 75–89. New York, NY: Springer New York. DOI 10.1007/978-1-4614-7076-2_6.

CHRYSSANTHOPOULOS, Costas and MARIDAKI, Maria, 2010. Nutritional aspects of yogurt and functional dairy products. In: *Development and manufacture of yogurt and other functional dairy products*, pp. 267–306. 1st. Boca Raton: CRC Press.

CLARO DA SILVA, Roberta and JANNATUL FERDAUS, Md., 2023. Technological Advances in Infant Formula Ingredients. In: *Infant Nutrition and Feeding*. IntechOpen. DOI 10.5772/intechopen.110595.

CONTÒ, Francesco et al., 2018. *Advances in dairy products*. John Wiley & Sons Ltd. ISBN 9781118906439.

- CORMICK, Gabriela et al., 2021. Effect of Calcium Fortified Foods on Health Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. Vol. 13, no. 2, p. 316. DOI 10.3390/nu13020316.
- CRUZ, Adriano G. et al., 2009. Ice-cream as a probiotic food carrier. *Food Research International*. Vol. 42, no. 9, pp. 1233–1239. DOI 10.1016/j.foodres.2009.03.020.
- CUTRIM, Camila Sampaio and CORTEZ, Marco Antonio Sloboda, 2018. A review on polyphenols: Classification, beneficial effects and their application in dairy products. *International Journal of Dairy Technology*. Vol. 71, no. 3, pp. 564–578. DOI 10.1111/1471-0307.12515.
- DARY, Omar and MORA, Jose O., 2002. Food Fortification to Reduce Vitamin A Deficiency: International Vitamin A Consultative Group Recommendations. *The Journal of Nutrition*. Vol. 132, no. 9, pp. 2927S-2933S. DOI 10.1093/jn/132.9.2927S.
- DAVANI-DAVARI, Dorna et al., 2019. Prebiotics: Definition, Types, Sources, Mechanisms, and Clinical Applications. *Foods*. Vol. 8, no. 3, p. 92. DOI 10.3390/foods8030092.
- DONATI, Emanuela, 2017. Vitamins, Minerals, and Bioactive Compounds. In: *Advances in Dairy Products*, pp. 75–97. Wiley. DOI 10.1002/9781118906460.ch1e.
- DRAGO, Silvina R. and VALENCIA, Mirta E., 2008. Mineral Dialyzability in Milk and Fermented Dairy Products Fortified with FeNaEDTA. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 56, no. 8, pp. 2553–2557. DOI 10.1021/jf073009u.
- DWYER, Johanna T. et al., 2015. Fortification and health: Challenges and opportunities. *Advances in Nutrition*. Vol. 6, no. 1, pp. 124–131. DOI 10.3945/an.114.007443.
- EFSA, 2015. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for magnesium. *EFSA Journal*. Vol. 13, no. 7. DOI 10.2903/j.efsa.2015.4186.
- EFSA, 2024. Food additives. *European Food Safety Authority* [online]. 19 March 2024. Retrieved from: <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/food-additives> [accessed 15 April 2024].
- EUROPEAN COMMISSION, 2024a. Additives. *Directorate-General for Health and Food Safety* [online]. 2024. Retrieved from: https://food.ec.europa.eu/safety/food-improvement-agents/additives_en [accessed 14 April 2024].
- EUROPEAN COMMISSION, 2024b. Addition of vitamins and minerals. *Directorate-General for Health and Food Safety* [online]. 2024. Retrieved from: https://food.ec.europa.eu/safety/labelling-and-nutrition/addition-vitamins-and-minerals_en [accessed 14 April 2024].
- EUROPEAN COMMISSION, 2024. Food additives database. *Directorate-General for Health and Food Safety* [online]. 2024. Retrieved from: <https://ec.europa.eu/food/food-feed-portal/screen/food-additives/search> [accessed 15 April 2024].
- EWEN, Scarlett and VATANPARAST, Hassan, 2013. Current Mandatory Fortificants in Developed Nations Compared to Developing Nations. In: *Handbook of Food Fortification and Health*, pp. 15–30. New York, NY: Springer New York. DOI 10.1007/978-1-4614-7076-2_2.
- FAIRWEATHER-TAIT, Susan J. and TEUCHER, Birgit, 2002. Iron and Calcium Bioavailability of Fortified Foods and Dietary Supplements. *Nutrition Reviews*. Vol. 60, no. 11, pp. 360–367. DOI 10.1301/00296640260385801.

FAO AND WHO, 2006. *Probiotics in food - Health and nutritional properties and guidelines for evaluation*. Rome.

FAO, 1996. *Food Fortification: Technology and Quality Control. (FAO Food And Nutrition Paper - 60)* [online]. Rome. Retrieved from: <https://www.fao.org/3/w2840e/w2840e00.htm#Contents> [accessed 14 April 2024].

FIJAN, Sabina, 2023. Probiotics and Their Antimicrobial Effect. *Microorganisms*. Vol. 11, no. 2, p. 528. DOI 10.3390/microorganisms11020528.

FIOLETOV, V. E. et al., 2010. Estimated ultraviolet exposure levels for a sufficient vitamin D status in North America. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. Vol. 100, no. 2, pp. 57–66. DOI 10.1016/J.JPHOTOBIO.2010.05.002.

FISK, Catherine M., THEOBALD, Hannah E. and SANDERS, Thomas A.B., 2012. Fortified Malted Milk Drinks Containing Low-Dose Ergocalciferol and Cholecalciferol Do Not Differ in Their Capacity to Raise Serum 25-Hydroxyvitamin D Concentrations in Healthy Men and Women Not Exposed to UV-B. *The Journal of Nutrition*. Vol. 142, no. 7, pp. 1286–1290. DOI 10.3945/jn.111.156166.

FITZGERALD, R. J. and MEISEL, H., 2003. Milk Protein Hydrolysates and Bioactive Peptides. In: *Advanced Dairy Chemistry*, pp. 675–698. Boston, MA: Springer US. DOI 10.1007/978-1-4419-8602-3_20.

FORTIN, Marie-Hélène et al., 2011. Effect of time of inoculation, starter addition, oxygen level and salting on the viability of probiotic cultures during Cheddar cheese production. *International Dairy Journal*. Vol. 21, no. 2, pp. 75–82. DOI 10.1016/j.idairyj.2010.09.007.

FOX, P. F. et al., 2015. Vitamins in Milk and Dairy Products. In: *Dairy Chemistry and Biochemistry*, pp. 271–297. Cham: Springer International Publishing. DOI 10.1007/978-3-319-14892-2_6.

FOX, P.F. and KELLY, A.L., 2003. Developments in the chemistry and technology of milk proteins. 2. Minor milk proteins. *Food Australia*. Vol. 55, pp. 231–234.

FROLOVA, Elena, 2024. Food fortification. [online]. 2024. Retrieved from: https://www.who.int/health-topics/food-fortification#tab=tab_1 [accessed 15 March 2024].

GAUCHERON, Frédéric, 2011. Milk and Dairy Products: A Unique Micronutrient Combination. *Journal of the American College of Nutrition*. Vol. 30, no. sup5, pp. 400S-409S. DOI 10.1080/07315724.2011.10719983.

GIBSON, Glenn R. and ROBERFROID, Marcel B., 1995. Dietary Modulation of the Human Colonic Microbiota: Introducing the Concept of Prebiotics. *The Journal of Nutrition*. Vol. 125, no. 6, pp. 1401–1412. DOI 10.1093/jn/125.6.1401.

GOBIERNO DE MÉXICO, 2024. Gobierno de México Homepage. [online]. 2024. Retrieved from: <https://www.gob.mx/liconsa> [accessed 14 March 2024].

GRAULET, Benoît, 2014. Ruminant milk: A source of vitamins in human nutrition. *Animal Frontiers*. Vol. 4, no. 2, pp. 24–30. DOI 10.2527/af.2014-0011.

GRIFFITHS, W. Mansel, 2010. *Improving the Safety and Quality of Milk*. 1st. Woodhead Publishing Limited.

HALL, Andrew G. and KING, Janet C., 2022. Zinc Fortification: Current Trends and Strategies. *Nutrients*. Vol. 14, no. 19. DOI 10.3390/nu14193895.

- HARDING, F., 1995. Compositional quality. In: *Milk Quality*, pp. 75–96. Boston, MA: Springer US. DOI 10.1007/978-1-4615-2195-2_6.
- HOLZAPFEL, Wilhelm H and SCHILLINGER, Ulrich, 2002. Introduction to pre- and probiotics. *Food Research International*. Vol. 35, no. 2–3, pp. 109–116. DOI 10.1016/S0963-9969(01)00171-5.
- HOMBALI, Aditi S et al., 2019. Fortification of staple foods with vitamin A for vitamin A deficiency. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. Vol. 2019, no. 5. DOI 10.1002/14651858.CD010068.pub2.
- HURRELL, Richard F, 2021. Iron Fortification Practices and Implications for Iron Addition to Salt. *The Journal of Nutrition*. Vol. 151, pp. 3S-14S. DOI 10.1093/jn/nxaa175.
- IBRAHIM, Salam A. and GYAWALI, Rabin, 2013. Lactose Intolerance. In: *Milk and Dairy Products in Human Nutrition*, pp. 246–260. Wiley. DOI 10.1002/9781118534168.ch12.
- IHME, 2023. *Anemia — Level 1 impairment* [online]. Retrieved from: <https://www.healthdata.org/research-analysis/diseases-injuries/factsheets/anemia-level-1-impairment> [accessed 15 March 2024].
- INSTITUTE OF MEDICINE, 2003. *Dietary reference intakes: guiding principles for nutrition labeling and fortification*. Washington, D.C.: National Academies Press. ISBN 0-309-52962-X.
- INSTITUTE OF MEDICINE, 2011. *Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D*. Washington, D.C.: National Academies Press. ISBN 978-0-309-16394-1.
- JÄÄSKELÄINEN, Tuija et al., 2017. 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. *The American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 105, no. 6, pp. 1512–1520. DOI 10.3945/ajcn.116.151415.
- JENSEN, Robert G., FERRIS, Ann M. and LAMMI-KEEFE, Carol J., 1991. The Composition of Milk Fat. *Journal of Dairy Science*. Vol. 74, no. 9, pp. 3228–3243. DOI 10.3168/JDS.S0022-0302(91)78509-3.
- KADLEC, Pavel et al., 2009. Technologie mléka a mlékárenských výrobků. In: *Co byste měli vědět o výrobě potravin? Technologie potravin*, pp. 227–294. Ostrava: KEY Publishing s.r.o.
- KHALILI, Mohammad et al., 2020. Application of Probiotics in Folate Bio-Fortification of Yoghurt. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. Vol. 12, no. 2, pp. 756–763. DOI 10.1007/s12602-019-09560-7.
- KHAN, Kashif M. and JIALAL, Ishwarlal, 2024. *Folic Acid Deficiency*.
- KOLANOWSKI, Wojciech and WEISSBRODT, Jenny, 2007. Sensory quality of dairy products fortified with fish oil. *International Dairy Journal*. Vol. 17, no. 10, pp. 1248–1253. DOI 10.1016/j.idairyj.2007.04.005.
- KOLIDA, Sofia and GIBSON, Glenn R., 2011. Synbiotics in Health and Disease. *Annual Review of Food Science and Technology*. Vol. 2, no. 1, pp. 373–393. DOI 10.1146/annurev-food-022510-133739.
- KORHONEN, Hannu and PIHLANTO, Anne, 2006. Bioactive peptides: Production and functionality. *International Dairy Journal*. Vol. 16, no. 9, pp. 945–960. DOI 10.1016/j.idairyj.2005.10.012.

LAWRENCE, Mark, 2013. *Food Fortification: The evidence, ethics, and politics of adding nutrients to food*. Oxford University Press. ISBN 9780199691975.

LEWIS, Michael J, 2011. The measurement and significance of ionic calcium in milk – A review. *International Journal of Dairy Technology*. Vol. 64, no. 1, pp. 1–13. DOI 10.1111/j.1471-0307.2010.00639.x.

LIU, Chunxiao et al., 2020. Effects of combined calcium and vitamin D supplementation on osteoporosis in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Food & Function*. Vol. 11, no. 12, pp. 10817–10827. DOI 10.1039/D0FO00787K.

LOPEZ-TEROS, Veronica et al., 2013. Vitamin A-Fortified Milk Increases Total Body Vitamin A Stores in Mexican Preschoolers. *The Journal of Nutrition*. Vol. 143, no. 2, pp. 221–226. DOI 10.3945/JN.112.165506.

LUCATTO, Juliana Nunes et al., 2020. Performance of different microbial cultures in potentially probiotic and prebiotic yoghurts from cow and goat milks. *International Journal of Dairy Technology*. Vol. 73, no. 1, pp. 144–156. DOI 10.1111/1471-0307.12655.

MADSEN, Katja H et al., 2013. Randomized controlled trial of the effects of vitamin D-fortified milk and bread on serum 25-hydroxyvitamin D concentrations in families in Denmark during winter: the VitmaD study. *The American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 98, no. 2, pp. 374–382. DOI 10.3945/ajcn.113.059469.

MANNAR, M. G. Venkatesh and WESLEY, Annie S., 2023. Food fortification. *Reference Module in Biomedical Sciences*. DOI 10.1016/B978-0-323-99967-0.00022-3.

MANNING, Thea Scantlebury and GIBSON, Glenn R, 2004. Prebiotics. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*. Vol. 18, no. 2, pp. 287–298. DOI 10.1016/j.bpg.2003.10.008.

MARTORELL, Reynaldo et al., 2015. Effectiveness evaluation of the food fortification program of Costa Rica: impact on anemia prevalence and hemoglobin concentrations in women and children. *The American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 101, no. 1, pp. 210–217. DOI 10.3945/ajcn.114.097709.

MAXFIELD, Luke, SHUKLA, Samarth and CRANE, Jonathan S., 2024. *Zinc Deficiency* [online]. StatPearls Publishing LLC. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK493231/> [accessed 16 March 2024].

MINERVINI, Fabio, ANGELIS, Maria De and GOBBETTI, Marco, 2017. Functional Dairy Products Including Pro/Pre/Symbiotics. In: *Advances in Dairy Products*, pp. 216–247. Wiley. DOI 10.1002/9781118906460.ch2e.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2024. Fortifikace potravin. *Informační centrum bezpečnosti potravin, Ministerstvo zemědělství*. 2024.

MORGAN, Emily J. et al., 2010. Red Meat and a Fortified Manufactured Toddler Milk Drink Increase Dietary Zinc Intakes without Affecting Zinc Status of New Zealand Toddlers. *The Journal of Nutrition*. Vol. 140, no. 12, pp. 2221–2226. DOI 10.3945/JN.109.120717.

MORRISSEY, P.A. and HILL, T.R., 2009. Fat-Soluble Vitamins and Vitamin C in Milk and Milk Products. In: *Advanced Dairy Chemistry*, pp. 527–589. New York, NY: Springer New York. DOI 10.1007/978-0-387-84865-5_12.

MULLAN, Michael, 2003. Major antimicrobial proteins in milk. [online]. 2003. Retrieved from: <https://www.dairyscience.info/index.php/exploitation-of-anti-microbial-proteins/52-antimicrobial-proteins.html> [accessed 13 March 2024].

NAGARAJAPPA, Veena and BATTULA, Surendra Nath, 2017. Effect of fortification of milk with omega-3 fatty acids, phytosterols and soluble fibre on the sensory, physicochemical and microbiological properties of milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 97, no. 12, pp. 4160–4168. DOI 10.1002/jsfa.8286.

NIH, 2024a. *Calcium - Fact Sheet for Health Professionals* [online]. National Institutes of Health (NIH) Office of Dietary Supplements (ODS). Retrieved from: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Calcium-HealthProfessional/> [accessed 22 March 2024].

NIH, 2024b. *Vitamin B12 - Fact Sheet for Health Professionals* [online]. National Institutes of Health (NIH) Office of Dietary Supplements (ODS). Retrieved from: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminB12-HealthProfessional/> [accessed 31 March 2024].

NIRO, S. et al., 2013. Production of functional ricotta cheese. *Agro Food Ind. Hi-Tech* [online]. Vol. 24, pp. 56–59. Retrieved from: https://www.researchgate.net/profile/Elena-Sorrentino-2/publication/259647748_Production_of_Functional_Ricotta_Cheese/links/0deec536e4546238fc000000/Production-of-Functional-Ricotta-Cheese.pdf [accessed 3 April 2024].

NOMURA, M. et al., 1998. Production of γ -Aminobutyric Acid By Cheese Starters During Cheese Ripening. *Journal of Dairy Science*. Vol. 81, no. 6, pp. 1486–1491. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(98)75714-5.

OCAK, Elvan and RAJENDRAM, Rajkumar, 2013. Fortification of Milk with Mineral Elements. In: *Handbook of Food Fortification and Health*, pp. 213–224. New York, NY: Springer New York. DOI 10.1007/978-1-4614-7076-2_17.

OLSON, Rebecca et al., 2021a. Food Fortification: The Advantages, Disadvantages and Lessons from Sight and Life Programs. *Nutrients*. Vol. 13, no. 4, p. 1118. DOI 10.3390/NU13041118.

OLSON, Rebecca et al., 2021b. Food Fortification: The Advantages, Disadvantages and Lessons from Sight and Life Programs. *Nutrients 2021, Vol. 13, Page 1118*. Vol. 13, no. 4, p. 1118. DOI 10.3390/NU13041118.

O'NEILL, Colette M. et al., 2016. Seasonal Changes in Vitamin D-Effective UVB Availability in Europe and Associations with Population Serum 25-Hydroxyvitamin D. *Nutrients*. Vol. 8, no. 9, p. 533. DOI 10.3390/NU8090533.

ORTIZ, Yuridia et al., 2017. Functional Dairy Products. In: *Global Food Security and Wellness*, pp. 67–103. New York, NY: Springer New York. DOI 10.1007/978-1-4939-6496-3_5.

OTTAWAY, P. Berry, 2008. *Food fortification and supplementation: Technological, safety and regulatory aspects*. Elsevier Ltd. ISBN 9781845691448.

PALACIOS, Cristina et al., 2021. Current calcium fortification experiences: a review. *Annals of the New York Academy of Sciences*. Vol. 1484, no. 1, pp. 55–73. DOI 10.1111/nyas.14481.

PARK, Young W. and HAENLEIN, George F. W., 2013. *Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition, and Health*. Wiley-Blackwell. ISBN 9780470674185.

PELLEGRINO, Luisa et al., 2021. Vitamin D Fortification of Consumption Cow's Milk: Health, Nutritional and Technological Aspects. A Multidisciplinary Lecture of the Recent Scientific Evidence. *Molecules*. Vol. 26, no. 17, p. 5289. DOI 10.3390/molecules26175289.

PEREIRA, Paula C., 2014. Milk nutritional composition and its role in human health. *Nutrition*. Vol. 30, no. 6, pp. 619–627. DOI 10.1016/j.nut.2013.10.011.

PICCIOTTI, Ugo et al., 2022. Cheese Fortification: Review and Possible Improvements. *Food Reviews International*. Vol. 38, pp. 474–500. DOI 10.1080/87559129.2021.1874411.

RATHEE, Shweta et al., 2022. Nanofortification of vitamin B-complex in food matrix: Need, regulations, and prospects. *Food Chemistry: Molecular Sciences*. Vol. 4, p. 100100. DOI 10.1016/j.fochms.2022.100100.

RODRÍGUEZ-ALCALÁ, L. M. and FONTECHA, J., 2007. Hot Topic: Fatty Acid and Conjugated Linoleic Acid (CLA) Isomer Composition of Commercial CLA-Fortified Dairy Products: Evaluation After Processing and Storage. *Journal of Dairy Science*. Vol. 90, no. 5, pp. 2083–2090. DOI 10.3168/JDS.2006-693.

SADAT-MEKMENE, Leila et al., 2011. Original features of cell-envelope proteinases of *Lactobacillus helveticus*. A review. *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 146, no. 1, pp. 1–13. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.01.039.

SALEHI, Fakhreddin, 2021. Quality, physicochemical, and textural properties of dairy products containing fruits and vegetables: A review. *Food Science & Nutrition*. Vol. 9, no. 8, pp. 4666–4686. DOI 10.1002/fsn3.2430.

SALVINI, Filippo et al., 2011. A Specific Prebiotic Mixture Added to Starting Infant Formula Has Long-Lasting Bifidogenic Effects. *The Journal of Nutrition*. Vol. 141, no. 7, pp. 1335–1339. DOI 10.3945/jn.110.136747.

SANCHEZ, Hugo et al., 2013. Effectiveness of the National Program of Complementary Feeding for older adults in Chile on vitamin B12 status in older adults; secondary outcome analysis from the CENEX Study (ISRCTN48153354). *Nutrition Journal*. Vol. 12, no. 1, p. 124. DOI 10.1186/1475-2891-12-124.

SAZAWAL, Sunil et al., 2013. Impact of micronutrient fortification of yoghurt on micronutrient status markers and growth – a randomized double blind controlled trial among school children in Bangladesh. *BMC Public Health*. Vol. 13, no. 1, p. 514. DOI 10.1186/1471-2458-13-514.

SCHOLZ-AHRENS, Katharina E., AHRENS, Frank and BARTH, Christian A., 2020. Nutritional and health attributes of milk and milk imitations. *European Journal of Nutrition*. Vol. 59, no. 1, pp. 19–34. DOI 10.1007/s00394-019-01936-3.

SHAH, Nagendra P., 2007. Functional cultures and health benefits. *International Dairy Journal*. Vol. 17, no. 11, pp. 1262–1277. DOI 10.1016/j.idairyj.2007.01.014.

SINGLA, Vinti and CHAKKARAVARTHI, S., 2017. Applications of prebiotics in food industry: A review. *Food Science and Technology International*. Vol. 23, no. 8, pp. 649–667. DOI 10.1177/1082013217721769.

SUMIT, Arora, 2011. Fortification of Milk and Milk Products for Value Addition. *Chemical Analysis of Value Added Dairy Products and Their Quality Assurance* [online]. pp. 29–35. Retrieved from: https://www.researchgate.net/profile/Rupinder-Kaur-28/publication/294581313_Typing_of_Milk_for_A1_and_A2_beta_Casein/links/56c2270a08

aeedba0567d4ce/Typing-of-Milk-for-A1-and-A2-beta-Casein.pdf#page=49 [accessed 12 April 2024].

SUN, Xiaohong et al., 2020. Peptide–Mineral Complexes: Understanding Their Chemical Interactions, Bioavailability, and Potential Application in Mitigating Micronutrient Deficiency. *Foods*. Vol. 9, no. 10, p. 1402. DOI 10.3390/foods9101402.

SZPI, 2022. Požadavky na obohacené potraviny. *Státní zemědělská a potravinářská inspekce*. 1 September 2022.

TAGLIABUE, Carlo, 2017. Fruit and Vegetables. In: *Advances in Dairy Products*, pp. 98–115. Wiley. DOI 10.1002/9781118906460.ch1f.

TAMIME, A. Y. et al., 2006. Production and Maintenance of Viability of Probiotic Micro-Organisms in Dairy Products. In: *Probiotic Dairy Products*, pp. 39–72. Wiley. DOI 10.1002/9780470995785.ch3.

TEE, E-Siong, 2005. Report of ILSI Southeast Asia Region Coordinated Survey of Functional Foods in Asia. In: *Regulation of Functional Foods and Nutraceuticals*, pp. 293–302. Wiley. DOI 10.1002/9780470277676.ch17.

TITCHENAL, C. Alan and DOBBS, Joannie, 2007. A system to assess the quality of food sources of calcium. *Journal of Food Composition and Analysis*. Vol. 20, no. 8, pp. 717–724. DOI 10.1016/J.JFCA.2006.04.013.

TSANG, Becky L et al., 2021. Effects of Foods Fortified with Zinc, Alone or Cofortified with Multiple Micronutrients, on Health and Functional Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Advances in Nutrition*. Vol. 12, no. 5, pp. 1821–1837. DOI 10.1093/advances/nmab065.

TURCK, Dominique, 2013. Cow’s Milk and Goat’s Milk. *World Rev Nutr Diet*. pp. 56–62. DOI 10.1159/000351485.

VENKATESH MANNAR, M.G. and HURRELL, R.F., 2018. *Food Fortification in a Globalized World*. London: Andre Gerhard Wolff. ISBN 978-0-12-802861-2.

WALKER, Christa Fischer et al., 2005. Interactive effects of iron and zinc on biochemical and functional outcomes in supplementation trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 82, no. 1, pp. 5–12. DOI 10.1093/ajcn/82.1.5.

WHO, 2009. *Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995-2005* [online]. Geneva: World Health Organization. ISBN 9789241598019. Retrieved from: www.who.int/vmnis

WHO, 2023. Anaemia. *World Health Organization* [online]. 1 May 2023. Retrieved from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/anaemia> [accessed 15 March 2024].

WIBOWO, Noroyono, BARDOSONO, Saptawati and IRWINDA, Rima, 2016. Effects of Bifidobacterium animalis lactis HN019 (DR10TM), inulin, and micronutrient fortified milk on faecal DR10TM, immune markers, and maternal micronutrients among Indonesian pregnant women. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 25, pp. 102–S110. DOI 10.6133/apjcn.122016.s2.

WIKOFF, Daniele et al., 2017. Systematic review of the potential adverse effects of caffeine consumption in healthy adults, pregnant women, adolescents, and children. *Food and Chemical Toxicology*. Vol. 109, pp. 585–648. DOI 10.1016/j.fct.2017.04.002.

WILSON, N. and SHAH, N. P., 2007. Microencapsulation of Vitamins. *ASEAN Food Journal* [online]. pp. 1–14. Retrieved from: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33428128/1->

14-libre.pdf?1397051918=&response-content-
disposition=inline%3B+filename%3DMicroencapsulation_of_Vitamins.pdf&Expires=171405
2878&Signature=fnhOJUurRocf8X7L9UZnUTpLs2sfQGt9mntDdjdBxVvcWt6yyIrlPzmuf19
xU40ZuP7JSqrgBHY4eP6PzA9vHZtPtnLbC6KdsIEMxXIW5Z8ZuNd1BYmlWlgzNeaIo3R
E~02KwgP4PfcI54jqL4ZT38M~yL5H45de34bsS9TSb8du~JunJuc4dZCILhxjff0nkCZH7OQ
ChnTaH5ZMV-
TG3hOvvQE5unLr1mXcuv1RG7dJUbrrhE9AXLIVexXXUUybdeWky12XOgBpgtWUXTY
GzS3pXCukQvjoiy66tZNegZnv9NOwTpc88qf0E68UJREjktVAQgpd4mqvdAbGoJsn6A__
&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA [accessed 25 April 2024].

WOŹNIAK, Dagmara et al., 2022. Reasonableness of Enriching Cow's Milk with
Vitamins and Minerals. *Foods*. Vol. 11, no. 8. DOI 10.3390/FOODS11081079.

6 Seznam použitých zkratek a symbolů

BMK	Bakterie mléčného kvašení
CLA	Konjugovaná kyselina linolová
CPP	Kaseinfosopeptid
DHA	Kyselina dokosahexanová
EAR	Estimated average requirement
EFSA	Evropský úřad pro bezpečnost potravin
EPA	Kyselina eikosapentová
EU	Evropská unie
FAO	Organizace pro výživu a zemědělství
FDA	Úřad pro kontrolu potravin a léčiv
FDR	Nařízení o potravinách a léčivech (Food and Drug Regulations)
FOSHU	Potraviny pro specifické zdravotní použití (Foods for Specified Health Use)
GIT	Gastro-intestinální trakt
HTST	Vysoká teplota, mžikový čas pasterace
LC-PUFA	PUFA s dlouhými řetězci (Long-chain PUFA)
MK	Mastné kyseliny
PUFA	Polynenasycené mastné kyseliny
RA	Bachorová kyselina (rumenic acid)
RNI	Referenční příjem živin (Reference Nutrient Intake)
SFA	Nasycené mastné kyseliny
UHT	Ultra-high temperature
USA	Spojené státy americké
UV	Ultrafialové záření
WHO	Světová zdravotnická organizace