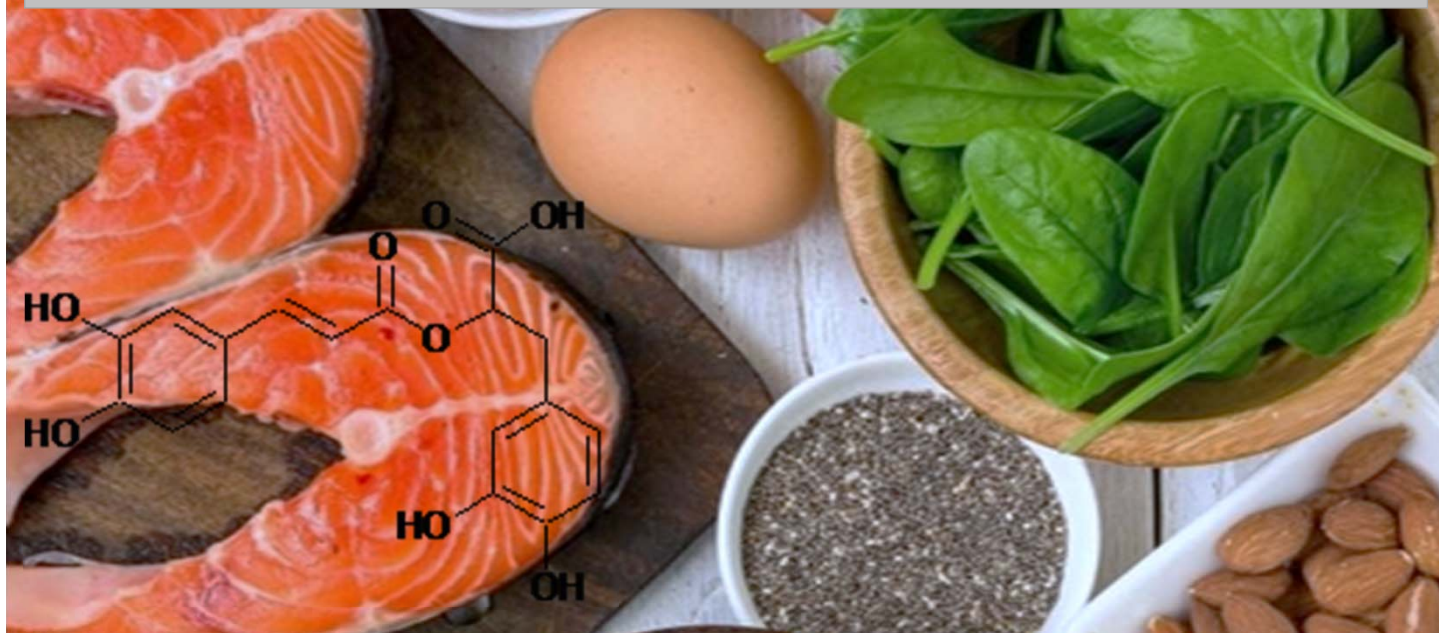
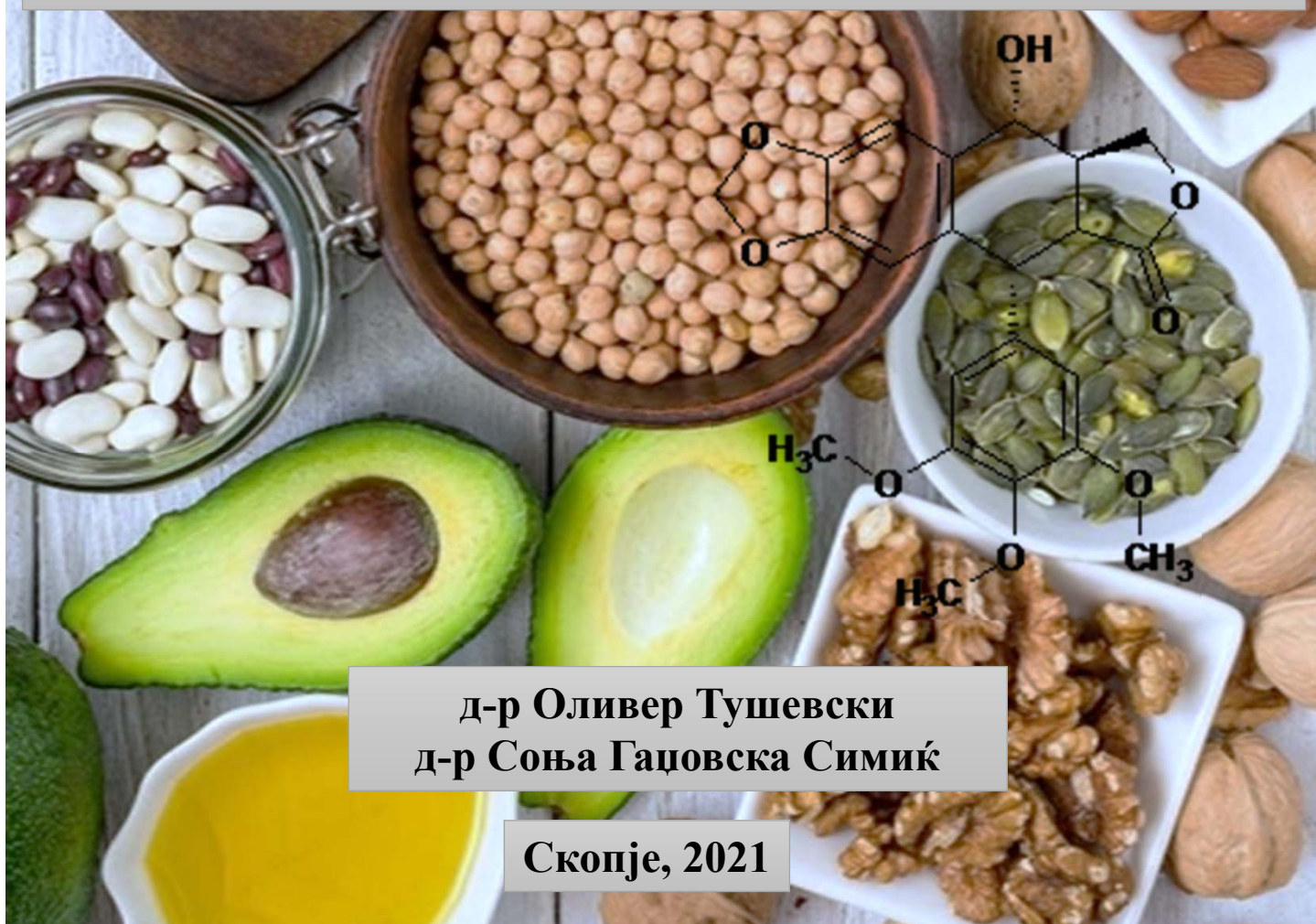


Универзитет „Св. Кирил и Методиј“-Скопје
Природно-математички факултет
Институт за биологија
Лабораторија за растителни *in vitro* култури



ИНТЕРНА СКРИПТА ПО БИОАКТИВНИ МЕТАБОЛИТИ ВО ХРАНА



д-р Оливер Тушевски
д-р Соња Гаџовска Симиќ

Скопје, 2021

Содржина:

1. ВОВЕД	2
1.1 БИОЛОШКИ АКТИВНИ СОЕДИНЕНИЈА ВО ХРАНА	2
1.2 КЛАСИФИКАЦИЈА НА БИОЛОШКИ АКТИВНИ СОЕДИНЕНИЈА ВО ХРАНА	4
1.3 ФИЗИОЛОШКО ДЕЈСТВО НА БИОАКТИВНИ СОЕДИНЕНИЈА ВО ОРГАНИЗМОТ	5
1.4 ГЛАВНИ ГРУПИ НА БИОЛОШКИ АКТИВНИ СОЕДИНЕНИЈА ВО ХРАНА	14
1.5 БИОЛОШКИ АКТИВНИ СОЕДИНЕНИЈА ВО РАЗЛИЧНИ ВИДОВИ НА ХРАНА	42
1.5.1. Млеко и млечни производи	42
1.5.2 Јајца и производи од јајца	49
1.5.3 Месо и месни производи	50
1.5.4 Житарици и житни производи	50
1.5.5 Овошје и зеленчук	52
1.5.6 Мед и пчелини производи	53
1.5.7 Стимуланси и пијалоци	58
1.5.8 Зачини	58
1.5.9 Печурки	59
1.5.10 Алги или морски треви	60
2. ДОДАТОЦИ НА ИСХРАНАТА	61
2.1 Антиоксидантите како додатоци на исхрана	63
2.2. Протеини и аминокиселини како додатоци на исхрана	64
2.3 Витамини и минерали како додатоци во исхрана	66
2.4 Легислатива	67
2.5 Користење на додатоци на исхрана	68
3. ФУНКЦИОНАЛНА ХРАНА И ФОРТИФИКАЦИЈА (ЗБОГАТУВАЊЕ) НА ХРАНА	70
3.1 Функционална храна	70
3.2 Фортификација (збогатување) на храна	74
3.3 Диететски производи	76
4. РЕАКТИВНИ КИСЛОРОДНИ РАДИКАЛИ И РАСТИТЕЛНИ АНТИОКСИДАНТИ	77
4.1 Реактивни кислородни радикали	77
4.2 Клеточни оштетувања предизвикани од реактивни кислородни радикали	79
4.2.1 Липидна пероксидација (LP)	79
4.2.2 Оксидација на протеини	80
4.2.3 Оштетување на ДНК	81
4.3 Растителни антиоксиданти	81
4.3.1 Неензимски антиоксидантни соединенија	82
4.3.2 Ензимски антиоксидантни соединенија	92

1. ВОВЕД

Храната што ја конзумираат луѓето содржи мали количества на биолошки активни соединенија кои можат да имаат позитивно влијание врз одредени физиолошки процеси во организмот. Овие соединенија преку својата биолошка активност можат да го неутрализираат дејството на некои токсични производи од метаболизмот на човекот. Биолошки активните компоненти се разликуваат по својата хемиска структура и функцијата што ја извршуваат во организмот. Според литературните податоци, растителните секундарни метаболити (фенолни соединенија, флавоноиди, фитостероли, изофлавоноиди, танини, терпеноиди, алкалоиди) како биолошки активни соединенија ја спречуваат појавата на разни заболувања на гастроинтестиналниот, кардиоваскуларниот, ендокриниот, нервниот, како и имуниот систем кај човекот.

Биолошки активните компоненти главно се присутни во растенијата (овошје, зеленчук и житарици), а некои од нив како што се пробиотици, конјугирана линоленска киселина, ω -3-масни киселини и биоактивни пептиди се наоѓаат во производи од животинско потекло (млеко, млечни производи и риба).

Познавањето на својствата на храната, особено хемискиот состав, структурата на макро- и микронутриентите, како и на биолошки активните соединенија овозможува препознавање на потребите за храна кај одреден тип на консументи: трудници, доилки, адолесценти, постари индивидуи, болни индивидуи, спортисти, војници, менаџери и други популациски групи. Од друга страна пак, овие составни компоненти на храната можат да имаат важна улога во превенција и лекување на многу заболувања кај човекот кои се предизвикани од суфицит или дефицит на одредени нутриенти во исхраната.

Денес, во исхраната на хуманата популација (млеко, пилешко месо, месо од риба, зеленчук, овошје, леб) се идентификувани бројни соединенија со протективно дејство. Изборот на одреден тип на специфични хранливи компоненти овозможува формулирање на исхрана кај одредени индивидуи со различни метаболички пореметувања (фенилкетонурија, глутенска ентеропатија, нетолеранција на лактоза и фруктоза). Така на пр., кај пациенти со фенилкетонурија се препорачува храна што не содржи фенилаланин.

Примената на диетотерапија и нутритивните модификации може да има клучна улога при третманот на различни заболувања. Во последните децении на пазарот постојат голем број на посебно формулирани прехранбени производи и додатоци во исхраната кои се користат за подобрување на здравствениот статус на луѓето. Според нутритивните својства и квалитетот креирани се различни формулации на храна, додатоци во исхраната и функционална храна. Во овие видови на храна, освен на нутритивниот статус се посветува големо внимание и на присуството на биолошки активни компоненти.

1.1 БИОЛОШКИ АКТИВНИ СОЕДИНЕНИЈА ВО ХРАНАТА

Биолошки активните соединенија во храната најчесто се дефинирани како природни нутритивни составни компоненти кои во соодветни количества можат да имаат позитивно влијание врз здравјето на луѓето. Исто така, поимот биолошка активност може да се однесува и на појава на штетни ефекти или токсично дејство на овие соединенија врз здравјето на луѓето. Во последните неколку години се објавени голем број на научни податоци за природата и физиолошкото дејство на биоактивните компоненти од растително потекло (житарици, маслодајни растенија, овошје, зеленчук, зачини) или од

животинско потекло (производи од млеко, јајца, месо и риба), како и од микроорганизми (функционални микробни култури).

Влијанието на биолошки активните компоненти од храната се базира на Парацелзиусовата хипотеза: “Сите супстанции се отров и ништо не е отров, само дозата на супстанциите одредува дали тие се или не се отровни”. Консумирањето на храна која содржи одредени биоактивни компоненти може да има штетни последици по здравјето, а особено оние компоненти што покажуваат поголема биолошка активност врз метаболичките процеси во човековиот организам. Поради тоа, внесувањето на одредени нутриенти преку исхраната се базира на неколку категории:

- **препорачан дневен внес (RDA-Recommended Dietary Allowance)** претставува просечен дневен внес на хранливи материи за да се задоволат нутритивните потреби на речиси сите (97-98%) здрави индивидуи.
- **референтен дневен внес (DRI-Dietary Reference Intakes)**, кој опфаќа сет од нутритивни препораки и референтни вредности, како што се:
 - **проценета просечна потреба (EAR-Estimated Average Requirement)** е количина на хранлива материја која ги задоволува потребите кај половина (50%) од здравите индивидуи во популацијата,
 - **поднослива горна граница на внес (UL-Tolerable Upper Intake Level)** е најголем дневен внес на хранливи материи кој не претставува ризик за појава на токсичност кај речиси сите индивидуи.

Исто така, треба да се земе предвид и начинот на исхрана како дел од животниот стил со цел да се проценат потребите за внес на храна која содржи биолошки активни компоненти. Терминот биолошки активна компонента во храната најчесто се однесува на соединенија кои немаат нутритивна вредност, туку имаат функционални својства во превенцијата и лекувањето на разни заболувања во организмот на човекот. Денес се познати голем број биолошки активни компоненти од растително потекло, како што се:

- сулфорафан, индол и карабинол во брокула,
- ликопен во домати и лубеница;
- β -каротен во морков, кајсија и праска,
- лутеин во пченка,
- алицин во лук,
- кверцетин во кромид,
- елагна киселина во јаголко,
- генистеин во соја,
- капсаицини и каротеноиди во лути пиперки,
- катехини во зелен чај.

Овие соединенија не се класифицирани како хранливи материи, но имаат значајна улога во исхраната поради нивното протективно дејство. Денес, големо внимание се посветува на значењето на овие соединенија во исхраната, иако сè уште не постојат RDA и DRI препораки за нивната примена. Од друга страна пак, познати се ефектите од консумирањето на некои нутритивни составни компоненти (ω -3-масни киселини, есенцијални масни киселини, аминокиселини, витамини и минерали) во превенција и третман на одредени болести. Сепак, механизмите преку кои нутритивните и ненутритивните (биоактивни) компоненти од храната влијаат врз здравјето на човекот сè уште не се доволно познати.

Голем број клинички студии покажуваат дека одредени специфични компоненти од храната имаат потенцијал да го намалат ризикот од појава на болести на дигестивниот

систем, канцер, остеопороза, воспаленија и други хронични заболувања. Така на пр., познато е дека изофлавононите имаат кардиопротективно дејство преку намалување на концентрацијата на холестерол во крвта. Посебно значење во исхраната имаат биоактивните компоненти со антиоксидантен капацитет кои имаат способност да ги елиминираат слободните радикали во организмот. Овошјето, зеленчукот и лековитите растенија содржат различни растителни метаболити (хлорофил, каротеноиди, полифеноли, флавоноиди, гликозиди, танини, алкалоиди, фитостероли, лигнани) кои покажуваат висока биолошка активност. Биолошки активните компоненти во исхраната се присутни во речиси сите регулаторни категории на храна, како што се конвенционалната храна, адитиви во исхраната, медицинска храна и диетална храна.

1.2 КЛАСИФИКАЦИЈА НА БИОЛОШКИ АКТИВНИ СОЕДИНЕНИЈА ВО ХРАНА

Биолошки активните соединенија во храната може да се класифицираат според хемискиот состав, потеклото, физиолошкото дејство во организмот, како и според фармацевтската форма во која се консумираат како додатоци во исхраната. Биоактивните соединенија во храната можат да имаат нутритивен и ненутритивен карактер (Сл. 1.1).

Нутритивни компоненти во храната се:

- аминокиселини,
- масни киселини,
- јаглехидрати (β -D-глюкани, инозитол, сорбитол),
- витамини,
- минерални елементи.

Ненутритивни компоненти во храната се:

- феноли (флавоноиди),
- терпеноиди (стероли),
- алкалоиди.



Слика 1.1 Класификација на ненутритивни и нутритивни биоактивни компоненти во храна.

Биолошки активните компоненти можат да имаат потекло од:

- растенија (каротеноиди, полифеноли, флавоноиди, алкалоиди, сапонини),
- животни (колострум, пробиотици, протеини на сурутка),
- минерални соединенија (Ca, Mg, J),
- микроорганизми (функционални микробни култури).

Индустриската обработка на храната може да предизвика значајно намалување на содржината на биоактивни метаболити. Така на пр., целосното рафинирање на храната (бел шеќер, алкохолен оцет или алкохолни пијалоци) може да го елиминира присуството на растителни метаболити.

Биоактивните метаболити како додатоци во исхраната можат да бидат во цврста, желатиозна или течна конзистенција, а според фармацевтската форма можат да се користат како таблети, капсули, прашоци и сирупи.

Според физиолошкото дејство, биоактивните метаболити во храната можат да имаат влијание врз различни органски системи кај човекот особено:

- дигестивниот систем (растителни влакна, ензими)
- крвоносниот систем (ω -3-масни киселини, витамин К)
- ендокриниот систем (α -липоична киселина)
- нервниот систем (алкалоиди)

1.3 ФИЗИОЛОШКО ДЕЈСТВО НА БИОЛОШКИ АКТИВНИ СОЕДИНЕНИЈА ВО ОРГАНИЗМОТ

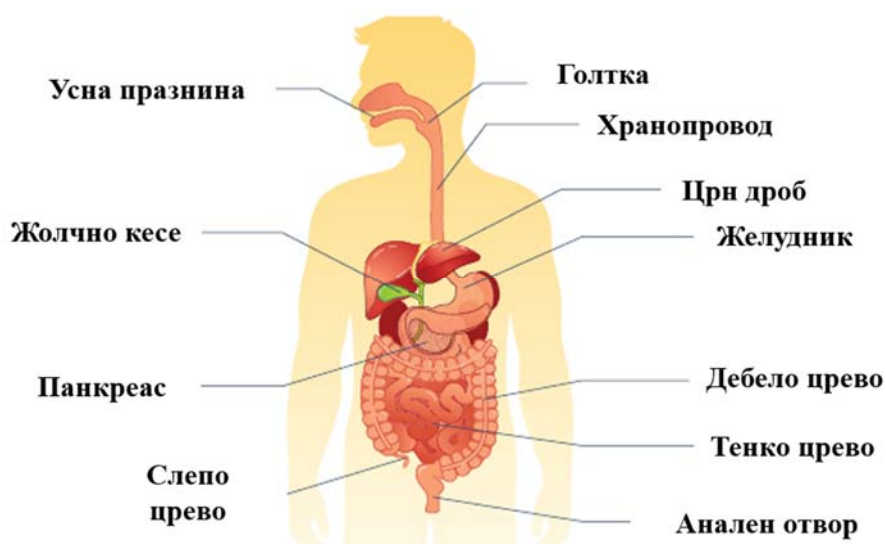
Биолошки активните компоненти со антиоксидантно дејство (витамин С, витамин Е, селен, цинк, полифеноли, флавоноиди, каротеноиди) учествуваат во регулацијата на бројни физиолошки процеси во човековиот организам. Од посебно значење се истражувањата за улогата на биолошки активните соединенија од растително потекло кои имаат антиоксидантен капацитет. Иако растителните биоактивни метаболити се ненутритивни компоненти, тие имаат важна улога во превенција од различни заболувања. **Растителните антиоксидантни метаболити** учествуваат во регулација на ендокриниот систем, дигестивниот систем, кардиоваскуларниот систем, имунитетот и хроничните дегенеративни заболувања.

Човековиот организам е сложен систем каде што функциите на поединечните органи се многу тесно поврзани, при што биолошки активните компоненти имаат влијание врз целокупната физиолошка состојба на организмот. Така на пр., антиоксидантите кои го намалуваат оксидативниот стрес имаат влијание врз целокупниот одбранбен систем на организмот. Исто така, растителните влакна кои ја подобруваат перисталтиката на дигестивниот систем, истовремено ја олеснуваат и апсорпцијата на хранливи материи преку крвотокот.

Карактеристичен пример за антиоксидантно соединение кое учествува во регулација на целокупниот физиолошки статус на организмот е **витаминот С**. Во тој контекст, витаминот С учествува во повеќе од 300 биолошки процеси во организмот, а особено во регулација на функцијата на ендокриниот, кардиоваскуларниот и нервниот систем. Витаминот С е потребен како кофактор во каталитичката активност на некои ензими, а најпознати се пролин хидроксилаза и лизин хидроксилаза кои учествуваат во биосинтезата на колаген. Двата ензими во своите активни места содржат железо, при што колагенот синтетизиран во отсуство на витамин С е недоволно хидроксилиран, а колагенските влакна не се цврсти што предизвикува фрагилност на крвните садови. Колагенот е основен протеин

на сврзното ткиво кој има важна улога во градбата, структурата и заштитата на крвните садови, коските, зглобовите и мускулите. Витаминот С учествува и во синтеза на хормоните на надбубрежната жлезда, како и во синтеза на ензимот допамин хидроксилаза кој содржи бакар и го конвертира допаминот во норадреналин. Исто така, витаминот С учествува во создавањето на холестерол во црниот дроб и неговата конверзија во жолчна киселина, како и во регулација на нивото на холестерол во крвта. Витаминот С учествува во регулација на работа на срцето и во одржување на нормалниот крвен притисок, како и во транспортот на серотонин и пренесувањето на нервни импулси преку нервниот систем.

Дигестивниот систем (Сл. 1.2) составен од усна празнина, голтка, хранопровод, желудник, тенко црево, дебело црево и анален отвор заедно со други органи (плунковни жлезди, црн дроб со жолчно кесе и панкреас) учествува во дигестија и апсорпција на хранливите материи.

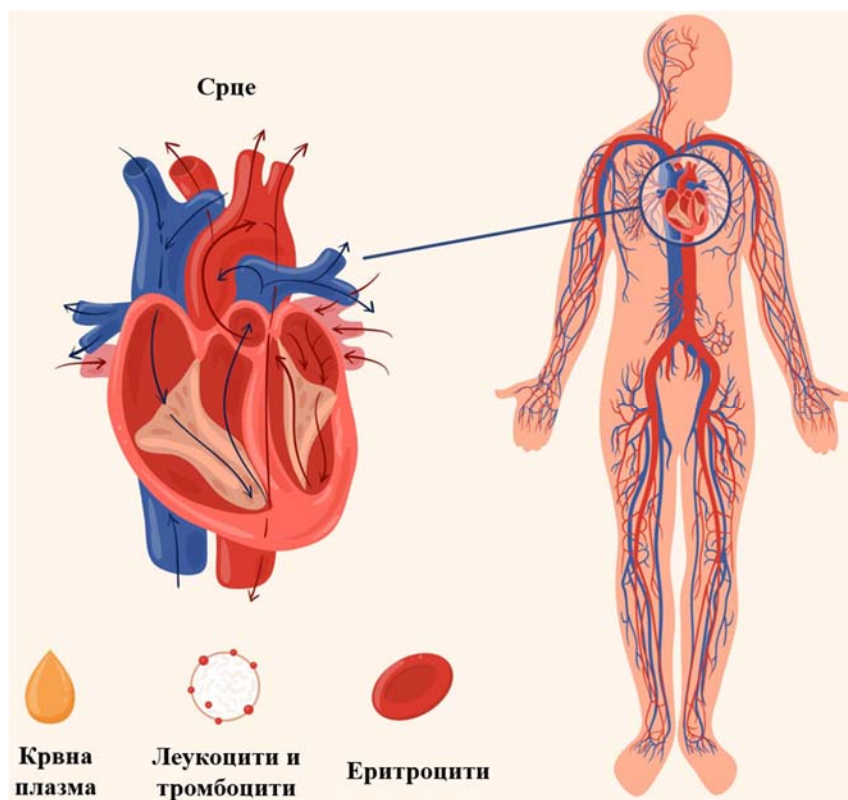


Слика 1.2 Дигестивен систем кај човекот.

Растителните влакна (интегрални житарици, овошје и зеленчук) ја подобруваат цревната перисталтика и го адсорбираат холестеролот и простите шеќери, а со тоа директно ја подобруваат функцијата на кардиоваскуларниот систем. Функцијата на дигестивниот систем може да биде регулирана од различни **пребиотици** (фруктоолигосахариди), **пробиотици** (бифидобактерии во млечни производи), **симбиотици** (комбинација од пребиотици и пробиотици), како и **инхибитори** на дигестивните ензими кои се особено застапени во сојата и житариците. Некои проблеми кои се појавуваат во функцијата на дигестивниот систем можат ефикасно да се намалат со примена на соодветна храна. Така на пр., храна богата со растителни влакна се користи при опстипација, а при дијареа се препорачува диета со бисквити и чај, како и храна со пектин од боровница, јаблоко или банана, додека пак, за појава на надуеност се советува консумирање на ѓумбир или црн ким.

Кардиоваскуларниот систем (Сл. 1.3) се состои од затворен систем од крвни садови (артерии, вени и капилари), телесна течност (крв) и срце. Срцето има улога на пумпа и обезбедува постојана циркулација на крвта низ крвните садови. Крвта е телесна течност преку која се транспортираат гасови, хормони, ензими и материи со заштитна улога во

организмот. Крвта учествува во регулација на телесната температура и одржувањето на хомеостаза во организмот.

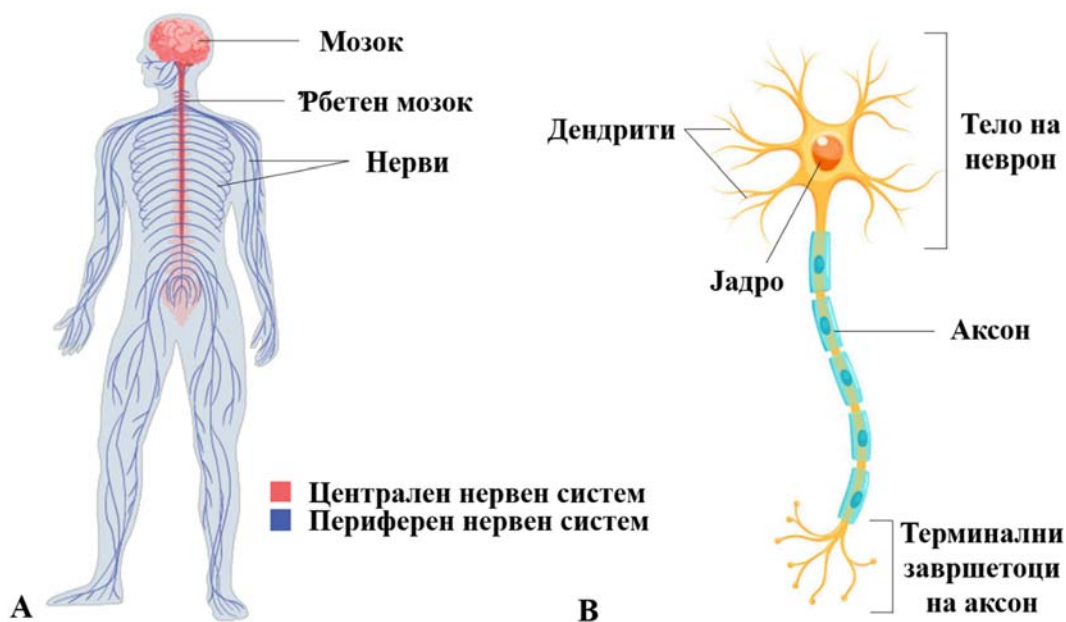


Слика 1.3 Кардиоваскуларен систем кај човекот.

Позитивното влијание врз функцијата на кардиоваскуларниот систем имаат полинезаситените ω -3-масни киселини: α -линоленска киселина (ALA), докосахексаенска киселина (DHA) и еикосапентаенска киселина (EPA) кои истовремено го стимулираат и имуниот одговор на организмот. Заболувањата на кардиоваскуларниот систем најчесто се појавуваат како последица на дијабетес, хипертензија и хиперлипидемија. Функцијата на кардиоваскуларниот систем може да биде пореметена како последица од коагулација на крвта, при што се препорачува исхрана која содржи соединенија со антикоагулантно дејство, како што се зелените зеленчуци кои содржат витамин К или зрнестото овошје кое е извор на ацетилсалицилна киселина. За регулација на крвниот притисок или хипертензија се препорачува храна што содржи ω -3-масни киселини (целер, лук, риба), флавоноли (темно чоколадо), калиум и коензим Q10 (диња, авокадо, блитва, праска, кајсија, слива, сок од домати, грав, лосос, соја, банана и бадем). Од друга страна пак, крвниот притисок може да го зголеми прехранбени производи богати со сол, кафе, алкохол, заситени масти и друго. Лектинските протеини како што се фитохемаглутиници од растително потекло (житарици, соја, грашок, леќа, црвен грав) и други гликопротеини со животинско потекло можат да предизвикаат појава на аглутинација на крвта и промени во физиологијата на крвните садови. Овие нутритивни материи се отпорни на дигестивните ензими и пред нивна консумација неопходно е да бидат термички обработени.

Нервниот систем (Сл. 1.4А) е претставен со централниот (ЦНС) и периферниот нервен систем (ПНС). Централниот нервен систем (ЦНС) се состои од черепен мозок и ‘рбетен мозок и учествува во интеграција и обработка на информациите. Периферниот нервен систем (ПНС) го сочинуваат сензорни нерви кои испраќаат дразби до черепниот или ‘рбетниот мозок и ганглиите, како и моторни нерви преку кои се пренесуваат одговори од централниот нервен систем. Периферниот нервен систем се состои од соматски нервен систем и автономен (вегетативен) нервен систем. Соматскиот нервен систем е претставен со 12 пара кранијални нерви и 31 пар ‘рбетни нерви и ганглии. Тој ги контролира функциите на скелетните мускули кои се поврзани со свесните физиолошки процеси (движење, трчање и пишување). Автономниот нервен систем е изграден од вегетативни ганглии и нерви кои ги регулираат и координираат несвесните активности на виталните органи (работа на срце и дишење).

Нервните клетки или неврони (Сл. 1.4В) се основни единици во градбата на нервниот систем кои се одговорни за спроведување на нервните импулси низ човековото тело. Од телото на невронот се разгрануваат куси продолжетоци (дендрити) кои ги примаат информациите од другите неврони. Исто така, од телото на невронот излегува и долг продолжеток (неврит или аксон) кој ги пренесува сигналите до другите неврони. Аксонот на еден неврон и дендритот на друг неврон физиолошки се поврзуваат преку синапса.



Слика 1.4 (А) Нервен систем кај човекот и (В) Градба на нервна клетка (неврон).

Дериватите на алкалоидот ксантин (кофеин, теин, теофилин и теобромин) кои се присутни во кафето, зелениот и црниот чај имаат стимулативно дејство врз централниот нервен систем, при што во умерени концентрации ја одржуваат будната состојба на организмот, но, нивното прекумерно внесување може да предизвика раздразливост, губење на концентрацијата, зголемување на крвниот притисок и друго. Некои составни компоненти во храната како што се фосфолипиди, лецитин, фосфатидилсерин, витамини и минерали, α -липоична киселина, инозит, γ -аминобутерна киселина (GABA) ја индуцираат биосинтезата на серотонин, ендорфин и мелатонин, а исто така ја регулираат и функцијата на

невротрансмитерите. Мелатонинот како компонентата која го подобрува сонот е детектиран во траги во црно грозје, семки од житарици, јагоди, банани, маслиново масло, ореви и пиво, а неговиот недостаток може да индуцира состојба на депресија. α -Липоичната киселина има стимулативно влијание врз периферниот нервен систем.

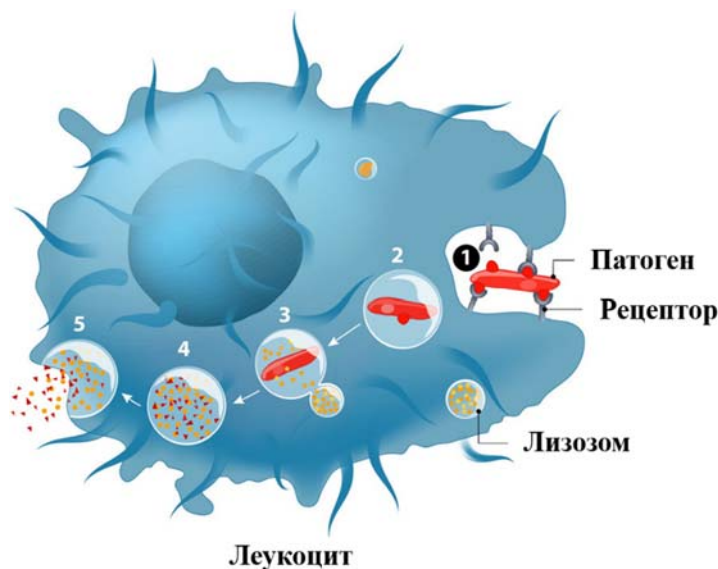
Имунолошкиот систем претставува збир на органи и клетки кои учествуваат во одбрана на организмот од различни надворешни патогени бактерии, вируси и алергени. Одговорот на организмот кон патогените предизвикувачи на различни болести се дефинира како **имунитет** кој може да биде **неспецифичен** (вроден) и **специфичен** (стекнат).

Неспецифичниот имунитет обезбедува примарна заштита од навлегување на патогени во организмот. Во рамките на **неспецифичниот** вроден имунитет се вклучуваат природните бариери на организмот како кожа и слузокожа, секретите на егзокрини жлезди, желудочен сок и нормална бактериска микрофлора (**Таб. 1.1**).

Табела 1.1 Неспецифичен (вроден) имунитет.

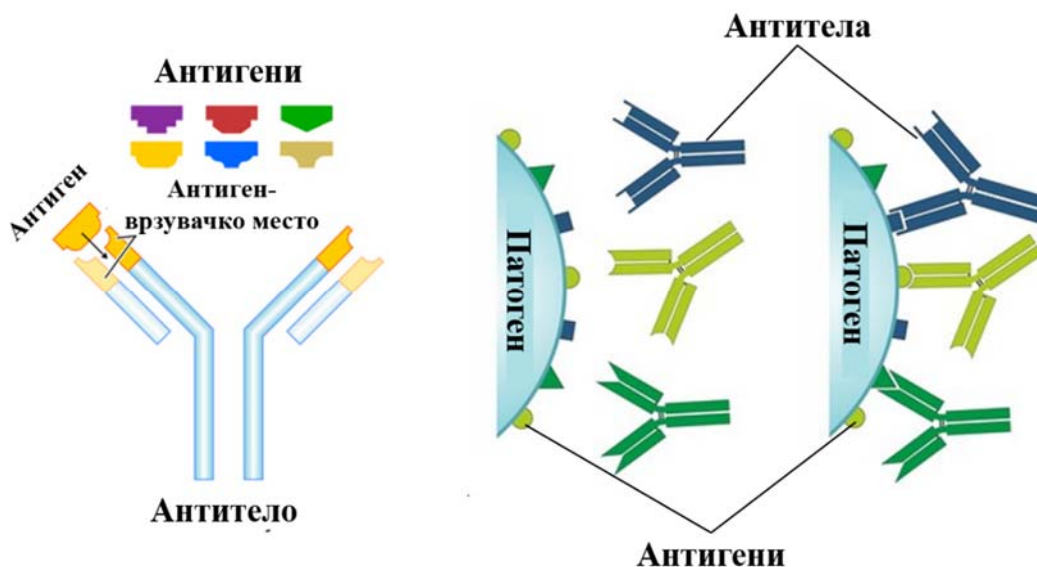
Прва одбранбена линија	Функција
Кожа и слузокожа	Заштита од навлегување на патогени во организмот
Секрети на егзокрини жлезди	Антибактериско дејство
Желудочен сок	Хлороводородната киселина ги уништува микроорганизмите кои навлегуваат со храната
Бактериска микрофлора	Спречување на размножување на патогени организми

При повреда или нефункционалност на природните бариери се активираат фагоцитите и интерфероните. **Фагоцити** се леукоцити кои ги напуштаат крвните садови и навлегуваат во ткивото каде е присутен патоген микроорганизам и го уништуваат по пат на фагоцитоза (**Сл. 1.5**). **Интерфероните** се протеини кои се активираат при вирусна инфекција во ткивата и вршат инактивација на вирусот.



Слика 1.5 Фагоцитоза.

Специфичниот имунитет опфаќа имунобиолошки реакции од типот антиген-антитело во кои учествуваат специфични протеини-имуноглобулини. Специфичниот имунитет може да биде хуморален и клеточен имунитет. **Хуморалниот имунитет** во организмот се поттикнува со присуство на антигени кои претставуваат протеини, полисахариди или масти кои организмот ги препознава како туѓи честички (полен, прав, отрови од инсекти или змии, токсини). **Антигените** предизвикуваат реакција на организмот на создавање на специфични антитела, со цел да се одбрани организмот. **Антителата (имуноглобулини)** се глобуларни протеини кои се синтезираат од плазма-клетките. Антителата се поврзуваат со антигените поради нивната структурна компатибилност и формираат комплекс антиген-антително кој го спречува штетното дејствување на антигенот (Сл. 1.6).



Слика 1.6 Формирање на комплекс антиген-антитело.

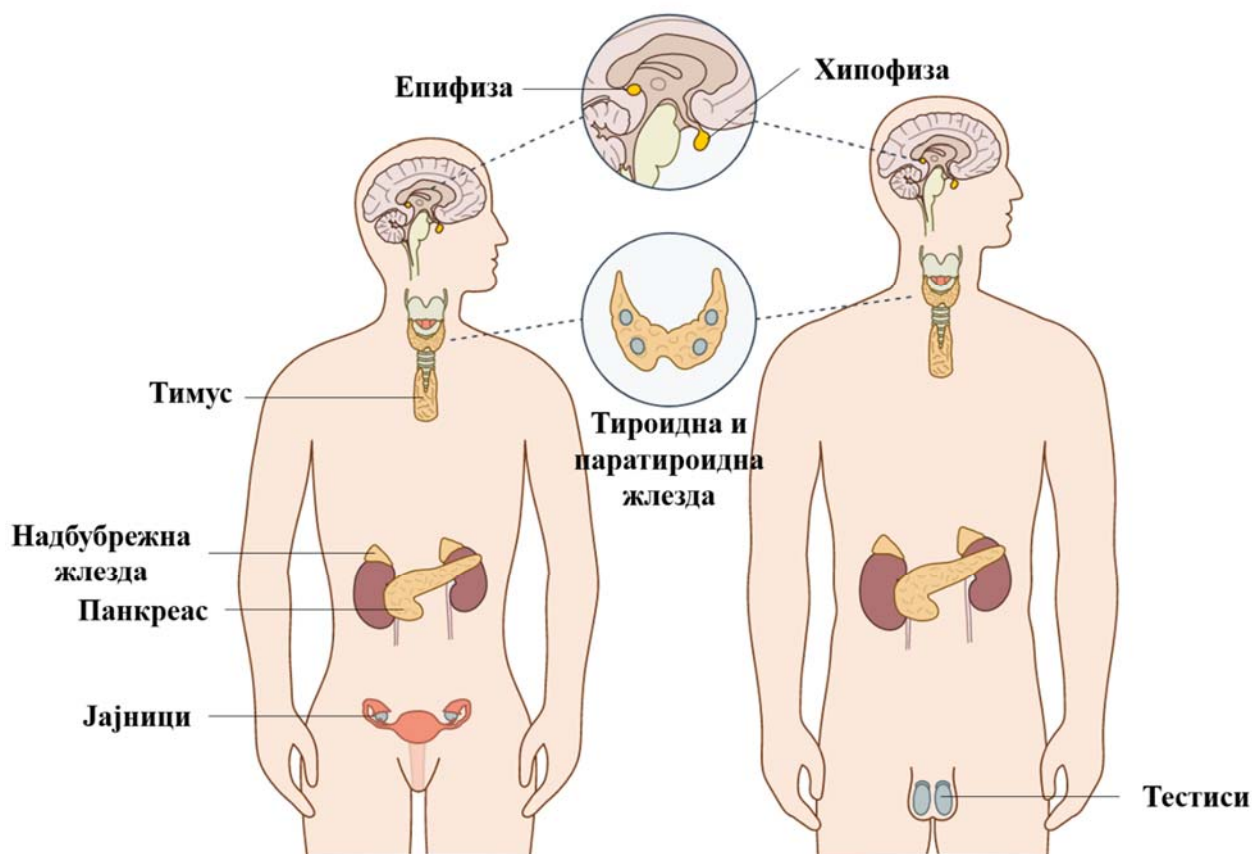
Клеточниот имунитет се остварува преку Т и В лимфоцитите кои се формираат од лимфобластите во коскената срцевина. Дел од лимфобластите се пренесуваат во градната жлезда (тимус) каде што се трансформираат во Т лимфоцити или во лимфоидните органи каде се трансформираат во В лимфоцити. Т лимфоцитите учествуваат во активација на В лимфоцитите или вршат активација на одбранбени клетки наречени Т-клетки убијци кои имаат способност за брзо уништување на патогени. В лимфоцитите учествуваат во продукција на антитела, а дел од нив се трансформираат во В-мемориски клетки кои при повторен контакт со антигенот што го меморирале подготвени се веднаш да продуцираат специфични антитела (Таб. 1.2).

Табела 1.2 Специфичен (стекнат) имунитет.

Природен имунитет	Активно стекнат	Создавање на специфични антитела при одредена болест
	Пасивно стекнат	Пренесување на антитела од мајка на бебе преку плацента или преку млеко кај новороденче
Вештачки имунитет	Активно стекнат	Создавање на специфични антитела преку вакцинирање
	Пасивно стекнат	Внесување на готови антитела преку крвни серуми

Имунолошкиот систем може да биде активиран при консумирање на различни хранливи производи кои можат да предизвикаат алергии или интолеранција. Во стекнување на имунитетот можат да учествуваат и некои биолошки активни компоненти од храната особено од коластрумот, сурутката, пробиотиците и други производи. Така на пр., ω -масните киселини (ω -6 и ω -3) учествуваат во биосинтезата некои хормони (еикосаноиди) кои имаат значајно влијание врз имуниот одговор и намалување на инфламаторните процеси во човековиот организам.

Ендокриниот систем го сочинуваат органи (најчесто жлезди), ткива и клетки кои имаат способност за внатрешно лачење на хормони (Сл. 1.7). **Хормоните** претставуваат биолошки активни молекули кои преку крвната циркулација (хуморален пат) се пренесуваат до своите таргет-клетки и регулираат различни физиолошки процеси во организмот (Таб. 1.3 и Таб. 1.4).



Слика 1.7 Ендокрин систем кај човекот.

Ендокрините жлезди (Сл. 1.7) во човековиот организам се: хипофиза, тироидна жлезда, паратироидна жлезда и надбубрежни жлезди, панкреас, пинеална жлезда (епифиза) и полови жлезди (јајници и тестиси).

Табела 1.3 Хормони на хипофиза.

Хипофиза	Хормон	Целни ткива	Функција
Аденохипофиза	Хормон на раст (GH)	Меки ткива и коски	Раст на ткива, синтеза на протеини, хидролиза на масти
	Пролактин (PRL)	Млечни жлезди	Продукција и секреција на млеко
	Тирео-стимулирачки хормон (TSH)	Тироидна жлезда	Секреција на тироидни хормони
	Фоликуло-стимулирачки хормон (FSH)	Гонади	Созревање на фоликули во јајници и секреција на естроген. Сперматогенеза во тестиси
	Лутеинизирачки хормон (LH)	Гонади	Формирање на жолто тело кај жени и секреција на полови хормони
Среден дел на хипофиза	Аденотропни хормон (ACTH)	Кора на надбубрежни жлезди	Секреција на кортизол од надбубрежни жлезди
	Меланотропин стимулирачки хормон (MSH)	Меланоцити во кожа	Секреција на меланин од меланоцити
Неврохипофиза	Антидиуретичен хормон (ADH)	Бубрези	Реапсорпција на вода од примарна урина во бубрези
	Окситоцин	Матка, млечни жлезди	Контракција на матка при породување и лактација по породување

Функцијата на ендокриниот систем може да биде регулирана со помош на некои биолошки активни компоненти во храната. Така на пр., изофлавоноидите од соја и црвена детелина се познати како фитоестрогени, бидејќи имаат слична структура со хуманиот естроген при што можат да се поврзат за естрогените рецептори и да го стабилизираат нивото на естрогени хормони. Овие соединенија можат да ги намалат симптомите на менопауза и остеопороза кај женската популација. Гинсенозидите од растението жен-шен кое е особено популарно во кинеската медицина имаат важна улога во регулирање на менталната, физичката и психичката активност на човекот. Од друга страна пак, некои фитостероиди соединенија изолирани од брокула, карфиол, зелка или маслодајна репка можат да ја инхибираат апсорпцијата на јод во организмот и да ја намалат функцијата на тироидната жлезда (атрофија и гушавост).

Табела 1.4 Хормони на ендокрини жлезди.

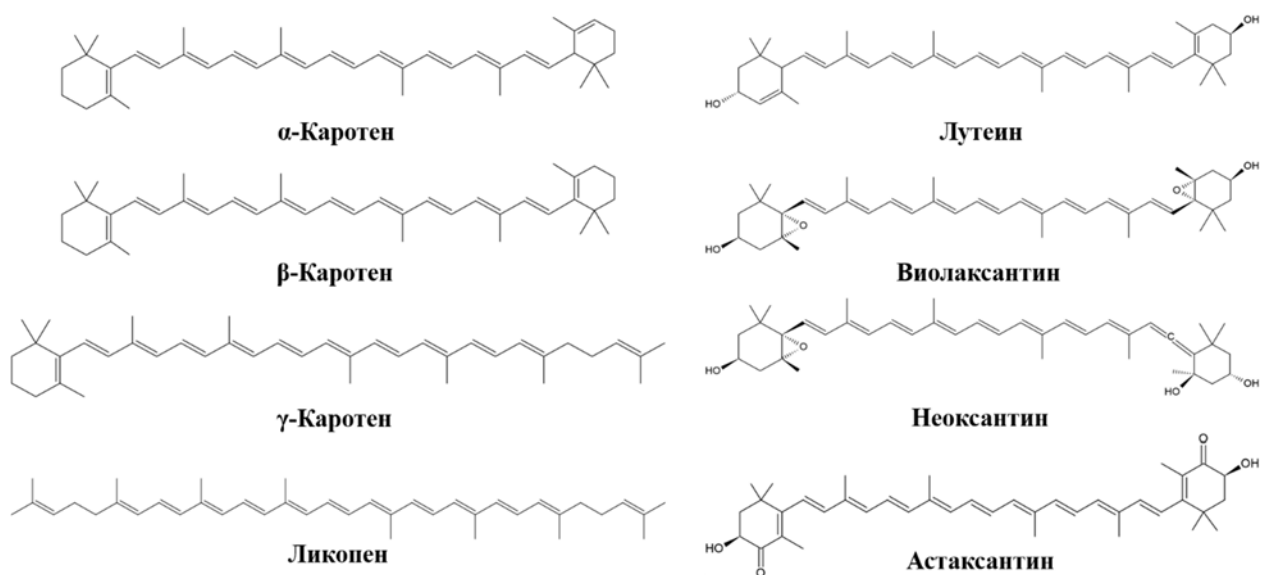
Жлезда	Хормон	Целни ткива	Функција
Тироидна жлезда	Тироксин (Т4) и тријодтиронин (Т3)	Сите клетки, освен тестиси, слезина и мозок	Зголемување на метаболизам, развој на мозок, одржување на коски, срцева и дигестивна функција
	Калцитонин	Коски, бубрези и црева	Намалување на концентрација на калциум во крвта
Паратиroidна жлезда	Паратиroidен хормон (PTH)	Коски, бубрези и црева	Зголемување на концентрација на калциум, а намалување на ниво на фосфор во крвта
Кора на надбубрежна жлезда	Алдостерон	Бубрези	Реапсорпција на натриум и секреција на калиум
	Кортизол, кортизон	Сите ткива	Разложување на масти и протеини, синтеза на глюкоза од аминокиселини
Срцевина на надбубрежна жлезда	Адреналин, норадреналин	Срце, бронхи, крвни садови	Зголемување на пулс, крвен притисок, срцева фреквенција, контракција на мазна мускулатура, хипергликемија и периферна вазоконстрикција
Панкреас	Инсулин	Црн дроб, мускули, масно ткиво	Секреција на инсулин од β -клетки од Лангерхансови островца. Хипогликемија. Стимулирање на синтеза на протеини
	Глукагон	Црн дроб, мускули, масно ткиво	Секреција на инсулин од α -клетки од Лангерхансови островца. Хипергликемија. Стимулирање на разградување на гликоген до глюкоза во црн дроб и синтеза на глюкоза од липиди и протеини
Епифиза	Мелатонин	Мозок	Регулација на циклус на спиење и спречување на предвремено полого созревање
Јајници	Прогестерон и естроген	Гонади, мускули, кожа, коски	Развој на млечни жлезди и јајници, развој на женски секундарни полови карактеристики. Регулација на менструален циклус кај жени
Тестиси	Тестостерон	Гонади, мускули, кожа, коски	Развој на машки секундарни полови карактеристики и сперматогенеза во тестиси

1.4 ГЛАВНИ ГРУПИ НА БИОЛОШКИ АКТИВНИ СОЕДИНЕНИЈА ВО ХРАНА

1.4.1 Каротеноиди

Каротеноидите се тетратерпени (C_{40}) кои претставуваат линеарни полинезаситени соединенија. Овие соединенија се растителни пигменти одговорни за појавата на жолта, црвена и портокалова боја на цветовите, листовите и плодовите. Каротеноидите се растворливи во масло и органски растворувачи и се поделени во две групи **каротени** и **ксантофили**. Основната структура на каротеноидите е составена од ковалентно поврзани изопренски единици и можат да поседуваат еден или два петчлени или шестчлени јононски прстени.

Најпознати каротеноиди кај растенијата се: α -каротен, β -каротен, лутеин, зеаксантин, виолаксантин, неоксантин, капсантин, β -криптоксантин и други (Сл. 1.8, Таб. 1.5).



Слика 1.8 Структура на каротеноиди.

Табела 1.5 Природни извори и физиолошко дејство на каротеноиди.

Каротеноиди	Извор	Физиолошко дејство
β -Каротен	Морков, праска, кајсија и други видови на овошје и зеленчук	Неутрализација на слободни радикали и намалување на ризик од појава на катаракт, болести на коронарни артерии и подобрување на имунитет
Лутеин	Спанак, јајца, цитруси	Антиоксиданси кои имаат придонес во одржување на здравјето
Зеаксантин	Пченка	Антиоксиданси кои имаат придонес во одржување на здравјето
Ликопен	Домат и производи од домати	Антиоксиданси кои имаат придонес во одржување на здравјето

Присуството на каротеноиди било докажано и во ткива на рибите кои живеат во северните мориња, особено кај лососот поради тоа што се исхранува со растителна храна богата со каротеноиди. Лососот има специфична розева боја поради тоа што се храни со морски растенија богати со каротеноидот **астаксантин** (Сл. 1.8). Некои каротеноиди карактеристични за растенијата или животните се поврзани за протеини. Црвениот атаксантин кај раковите (јасог) добива сина боја кога ќе се поврзе во комплекс со протеини. При загревање доаѓа до денатурација на овој протеинско-пигментен комплекс, при што сината боја преминува во црвена. **Ововердин** е уште еден пример за протеинско-пигментен комплекс со зелена боја застапен кај јастозите.

Каротеноидите можат да бидат поврзани со јаглехидрати и да формираат гликозиди (кроцин кај шафран). Каротеноидите лесно изомеризираат под дејство на топлина, светлина или киселина. Исто така, каротеноидите подлежат на брза оксидација поради големиот број на конјугирани двојни врски, при што се формираат епоксиди. Епоксидацијата настанува на крајните прстени што резултира со губење на провитаминската активност на каротеноидите. Оксидативната деградација на каротеноидите може да биде интензивирана под дејство на ензимот липоксигеназа. Липоксигеназата ја катализира оксидацијата на незаситени или полинезаситени масни киселини до водороден пероксид кој ги обезбојува каротеноидите. Иако каротеноидите имаат антиоксидантна активност, при што ги неутрализираат слободните радикали, тие при висок парцијален притисок на кислородот покажуваат прооксидативни својства. Каротеноидите се реалтивно стабилни при складирање на храната. Замрзнувањето на храната може да предизвика мали промени во содржината на каротеноиди, додека пак, третманот со висока температура предизвикува изомеризација на каротеноидите и нивна деградација. Апсорпцијата на каротеноиди во човековиот организам се движи помеѓу 10% и 30%, но, зголеменото внесување на каротеноиди може значајно да ја намали нивната апсорпција во телото. Важен фактор кој ја стимулира апсорпцијата на каротеноиди во организмот се масните, бидејќи каротеноидите се апсорбираат во присуство на жолчните соли. Растителните влакна од храната ја намалуваат или инхибираат апсорпцијата на каротеноиди. Каротеноидите припаѓаат во групата на егзогени антиоксиданти кои се внесуваат преку исхраната и имаат различни механизми на дејствување врз слободните радикали. Важно е да се потенцира механизмот на конверзија на каротеноидите во витамин А. Молекулот на β -каротен во човековиот организам се конвертира во две молекули на витамин А кој е безбоен. Имено, β -каротенот во својата структура има два β -јононски прстени поради што има висок капацитет за конверзија во витамин А. Од друга страна пак, α -каротен, γ -каротен и криптоксантин поседуваат мали разлики во хемиската структура и можат да се конвертираат само во еден молекул на витамин А. Каротеноидите учествуваат во подобрување на функцијата на кардиоваскуларниот систем, намалуваат појава на атеросклероза и остеопенија, како и ризик од појава на канцерогени заболувања на кожата.

β -Каротен (Сл. 1.8) е жолто-портокалов растителен пигмент изолиран од морковот. Тој е познат како провитамин А поради неговата способност за конверзија во витамин А во човековиот организам.

Потребите за внес на витамин А во организмот се изразуваат како ретинол еквиваленти (RE). Една RE единица се дефинира како биолошка активност на 1 μg ретинол. Според досегашните истражувања било познато дека фактор на конверзија на β -каротен во витамин А е 1:6, односно за 1 RE единица витамин А биле потребни 6 μg β -каротен. Во поново време, според застапеноста на β -каротен во храната се смета дека неговата апсорпција е помала и

дека за формирање на 1 RE единица витамин А се потребни дури 12 μg β -каротен. Ако β -каротенот не се конвертира во витамин А, тој се вградува во хиломикроните во црниот дроб кои претставуваат липопротеини со ултраниска густина. Каротеноидите во циркулацијата се наоѓаат поврзани за липопротеини, а се акумулираат во масното ткиво, црниот дроб, белите дробови, простатата и други органи. Акумулацијата на одредени каротеноиди во човековите органи е различна. Така на пр., β -каротенот и ликопенот се доминантни каротеноиди во тироидната жлезда, слезината, црниот дроб и панкреасот. Ликопенот е застапен во тестисите и простата, а зеаксантинонот во јајниците и масното ткиво. Физиолошката функција на β -каротенот во човековиот организмот е поврзана со кожата и слузницата. Кожата опфаќа најголема површина и претставува бариера за различни физички, хемиски и микробиолошки фактори. Слузницата ја обезбедува влажноста на телото, а оваа функција ја обезбедува витаминот А кој дејствува врз младите клетки во подлабоките слоеви на кожата кои ги заменуваат старите изумрени клетки што се лупат од површината на телото. Оваа улога на β -каротенот е важна и за другите органи како што се белите дробови, црева и тироидната жлезда. β -Каротенот е познат антиоксидант кој го стимулира одбранбениот систем на организмот и учествува во заштита на кожата од штетниот спектар на УВ-зрачење. Исто така, β -каротенот е неопходно потребен за биосинтеза на пигментот меланин во кожата. Од посебно значење се научните истражувања за улогата на β -каротенот во превенција од носно слепо и фотосензибилитет. β -Каротенот се применува при третман на катаракт, гастритис, како и при одвикнување од алкохол.

Богат извор на β -каротен се овошјето и зеленчукот, како и темно зелениот листест зеленчук (Таб. 1.5). Главни извори на β -каротен се мокров, диња, лубеница, круша, кајсија, домати, брокула, блитва, пиперка и спанаќ. Иако не постои точно дефинирано количество на β -каротен кој треба дневно да се внесе во организмот, голем број студии го потврдуваат значењето на неговото консумирање. Препораките за дневен внес на β -каротен кај човекот варираат од 10 mg до 60 mg и се смета дека човекот преку исхраната во просек внесува помалку од 2 mg β -каротен на ден. Консумирањето на β -каротен не предизвикува контраиндикации, но многу високи дози (над 60 mg дневно) можат да предизвикаат појава на жолто-портокалова боја (ксантоза) на кожата. Оваа појава на хиперкератонеза е реверзибилна, но е докажана кај индивидуи кои консумираат β -каротен во дози поголеми од 30 mg на ден во тек на подолг временски период. Сепак, внесот на поголеми количества на β -каротен не предизвикува појава на хипервитаминоза со витамин А, бидејќи неговата апсорпција и конверзија во витамин А се одвива бавно во организмот. Интересен е податокот дека β -каротенот кај пушачите предизвикува зголемен ризик од појава на рак на белите дробови и на пушачите не им се препорачува консумација на β -каротен во дози поголеми од 6 mg. Кај индивидуи кои долг временски период консумираат β -каротен се препорачува и внес на витамин Е, бидејќи β -каротенот го намалува нивото на витамин Е во организмот.

Лутеин ($\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_2$) е ксантофилен пигмент кој претставува хидроксилан дериват на β -каротен (Сл. 1.8). Тој е растворлив во масти и се наоѓа во зелени и жолти цветови, плодови и листови. Храната која содржи лутеин (зелен листест зеленчук, спанаќ, брокула) има позитивно влијание врз кардиоваскуларниот систем, спречува појава на малигни заболувања и ја заштитува очната леќа од појава на катаракт.

Лутеинот го сочинува поголемиот дел од очниот пигмент и како антиоксидант ја заштитува жолтата дамка (макула), бидејќи содржината на лутеин во макулата се намалува со зголемување на старосната граница кај луѓето. Поради тоа, кај постари индивидуи се

препорачува консумација на храна или додатоци во исхраната кои содржат лутеин, со цел да се одржи функцијата на макулата и да се заштити видот. Макулата со својата специфична положба и градба е одговорна за острина на видот и способноста за перцепција на боја. Лутеинот го гради заштитниот пигментен слој на макулата кој го филтрира синиот дел од спектарот на светлина и ја одржува остријата на видот, бидејќи токму синиот дел од спектарот е одговорен за оксидациски оштетувања на структурата на окото. Бројни истражувања покажале дека зголемениот внес на лутеин го намалува ризикот од појава на макуларни дегенерации и катакаракт (очно перде) кај возрасната популација.

Лутеинот како и другите каротеноиди се апсорбира во тенкото црево и се пренесува во крвотокот. Високи концентрации на лутеин се наоѓаат во макулата на окото, очната мрежница и леќа, како и во кожата. Концентрацијата на лутеин во окото и макулата директно е поврзана со неговата концентрација во крвта и зависи од внесот на лутеин преку исхраната. Зголемениот внес на лутеин од 6 до 8 mg на ден ја зголемува густината на макуларниот пигмент и значајно го намалува ризикот од појава на дегенеративни заболувања на окото кај возрасната популација. Според истражувањата, овие количества на лутеин го намалуваат ризикот од појава на катаракт за 30-50%. Лутеинот како антиоксидантна компонента има големо значење во регулирање на функцијата на очите, кожата, срцето, грлото на матката, како и подобрување на имунолошкиот систем кај организмот.

Човечкиот организам не може да синтезира лутеин и затоа најдобар природен извор на лутеин се зелен листест зеленчук (спанаќ и кељ), пченка и портокалово овошје (кајсии). Човекот со редовната исхрана внесува околу 2,5 mg лутеин на ден. Вредностите на RDA за лутеин не се дефинирани, но се препорачува внесување од 6 до 8 mg на ден. Исто така, се препорачува суплементите кои содржат лутеин да се консумираат заедно со храната, бидејќи на таков начин се зголемува неговата апсорпција.

Ликопенот (Сл. 1.8) е растителен пигмент одговорен за црвената боја на овошјето и зеленчукот, а најпознати извори на ликопен се домати, лубеница, розев грејпфрут и кајсии (Таб. 1.6). Поголем процент на ликопен се наоѓа во термички обработени домати со масло (кечап, сос од домати) отколку во свежи плодови, поради тоа што ликопенот е липофилно соединение.

Табела 1.6 Содржина на ликопен во овошје, зеленчук и некои преработени производи.

Овошје, зеленчук и други производи	Содржина (mg·100 g ⁻¹)
Кајсија	0,05
Кајсија (компот)	0,065
Розев грејпфрут	3,36
Лубеница	4,10
Папаја	2-5,3
Свеж домати	0,9-4,2
Варен домати	3,7
Кечап	9,9
Сос од домати	12,71

Препорачаниот дневен внес на ликопен во организмот сè уште не е прецизно дефиниран, но се смета дека најмалку 3-6 mg ликопен дневно е доволно количество за постигнување на оптимални ефекти. Производите на база на домати, кечап и сосови за шпагети, често пати се користат со производи богати со масти како што се пици и помфрит кои претставуваат извор на слободни радикали. Овие производи ја намалуваат достапноста на присутниот ликопен за човековиот организам. Современиот динамичен живот на луѓето не дозволува доволна консумација на свежо овошје и зеленчук, поради што се јавува и недостаток од потребните количества на ликопен како антиоксидант. Ликопенот поради својот липофилен карактер се акумулира во ткивата на простата, црниот дроб и надбубрежна жлезда.

Зголеменото ниво на ликопен во ткивата го намалува ризикот од оксидативни оштетувања на биолошките молекули (ДНК, липиди и протеини). Овие оксидативни процеси можат да настанат под дејство на различни загадувања на животната средина, сончево и јонизирачко зрачење, лекови, чадот од цигари, стрес или голем физички напор. Исто така, во човековиот организам се создаваат слободни радикали во текот на метаболизмот на масните материи и при имуниот одговор. Ликопенот и останатите антиоксиданти ги неутрализираат слободните радикали и ги елиминираат нивните штетни ефекти, при што го спречуваат натамошното оштетување на ткивата. Современите истражувања покажуваат дека во групата на каротеноиди, ликопенот е најмоќниот “ловец” на слободни радикали. Зголемено ниво на ликопен во клетките на масното ткиво има голем придонес во подобрување на антиоксидантниот статус на целиот организам, што е многу важно за намалување на ризикот од инфаркт и други заболувања на кардиоваскуларниот систем. Медитеранската исхрана богата со овошје и зеленчук, вклучувајќи го и доматиот како извор на ликопен го намалува штетното дејство на УВ-зрачењето што може да предизвика краткотрајни (црвенило и еритем) или долготрајни штетни ефекти (канцер) на кожата. Ликопенот како растителен пигмент со црвена боја ја стимулира пигментација на кожа изложена на сончево зрачење и претставува природна основа за постигнување на добар тен, но, истовремено има голема улога во значајна редукција на здравствениот ризик. Улогата на ликопенот во превенција на УВ-индуцирани оштетувања на кожата е докажана во бројни студии. Така на пр., појавата на УВ-индуциран еритем се намалува за 40% кај пациенти кои консумирале ликопен во период од 10 недели. Овој ефект на ликопенот кај пациентите се базира на зголеменото ниво на ликопен во крвната плазма. Поради тоа, комбинацијата од ликопен и β -каротен во синергизам со витамините Е и С се препорачуваат за одржување на виталноста, еластичноста и природната свежина на кожата.

Криптоксантин ($C_{40}H_{56}O$) е монохидроксилиран дериват на β -каротенот. Овој каротеноид се наоѓа во слободна и естерифицирана форма во мешунки и пиперки, а особено е главен пигмент во мандарината. Според научните студии, криптоксантинот има послаба активност во споредба со витаминот А.

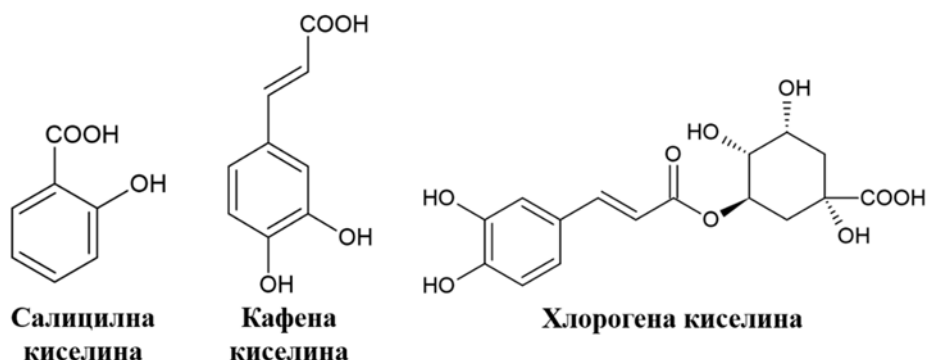
1.4.2 Фенолни соединенија

Фенолните соединенија се голема класа на секундарни метаболити на растенијата кои имаат значајна улога во:

- сензорските својства како што се боја, арома или вкус,
- растот и развитокот на растенијата,
- резистентност на растенијата кон болести и патогени микроорганизми,
- заштита од различни биотички и абиотички стрес фактори.

Фенолите опфаќаат повеќе од 8000 соединенија со различна хемиска структура составени од еден или повеќе хидроксилирани бензенови прстени. Во својата структура поседуваат фенил групи (-C₆H₅) поврзани со хидроксилни групи кои можат да формираат 5 до 7 ароматични прстени. Фенолите се растворливи во вода и најчесто се присутни кај растенијата во форма на гликозиди, а многу поретко како агликони. Во групата на феноли, најпознати биолошки активни соединенија се **фенолните киселини** и **флавоноидите**.

Фенолните киселини се застапени во голем број прехранбени производи, како што се овошјето, житните, зелјестите и лековитите растенија (Таб. 1.7). Карактеристични претставници на фенолни киселини како биолошки активни компоненти во растенијата се **салицилна киселина**, **кафена киселина** и **хлорогена киселина** (Сл. 1.9).



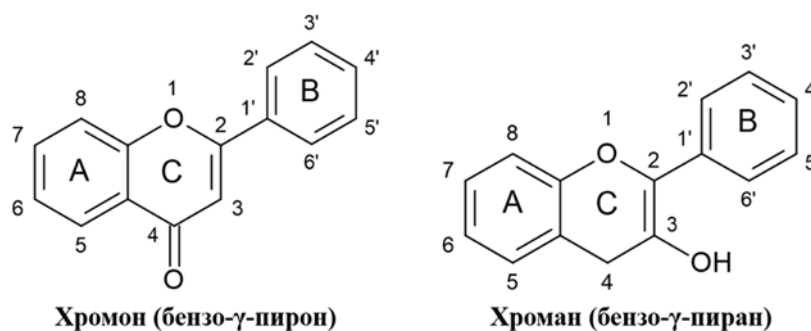
Слика 1.9 Структура на некои фенолни киселини.

Табела 1.7 Природни извори и физиолошко дејство на фенолни киселини и флавоноиди.

Фенолни соединенија	Извор	Физиолошко дејство
Гална киселина	Јаболко, цитрусни плодови, праска, зеленчук	Антиоксидантен ефект и кардиопротективно дејство
Кафена киселина	Круша, јаболко, артичока, оригано, босилек, темјан	Антиоксидантен ефект и кардиопротективно дејство
Хлорогена киселина	Јагода, ананас, сончоглед кафе, боровници	Антиоксидантен ефект и кардиопротективно дејство
Елагна киселина	Грозје, јаткасти плодови, јагоди, рибизли, малини	Антиканцерогено дејство и антилипидичемичен ефект
Ресвератрол	Црно грозје	Антиоксидантен ефект
Кверцетин	Кромид	Антиоксидантен ефект
Салицилна киселина	Цикорија, праска, урми, рузмарин, оригано, зелка	Анти-инфламаторно дејство (лек за болки)
Еугенол	Каранфилче	Аналгетик (забоболка)
Цијанидин	Шумско бобичесто овошје	Антиканцерогено дејство
Генистеин	Соја	Хемопревентивно дејство и антитуморска активност
Куркумин	Ѓумбир, шафран, куркума	Антиоксидантен ефект и анти-инфламаторно дејство

Фенолните киселини формираат ковалентни врски со полициклични ароматични јагледородороди, при што овие реакции се одговорни за нивното антиканцерогено дејство. Според лабораториските студии, фенолните киселини ја блокираат хемиски индуцираната појава на канцер на желудникот, кожата и белите дробови.

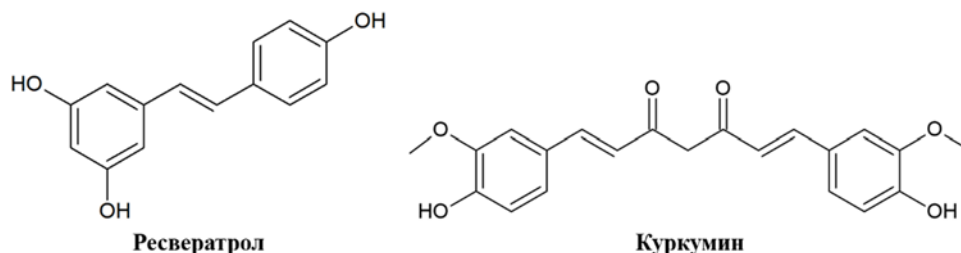
Најголема група на фенолни соединенија се флавоноидите кои се наоѓаат во речиси сите растителни органи. Денес, познати се околу 4000-5000 различни флавоноиди со различна структура. Флавоноидите се изградени од две ароматични јадра (**фенилни радикали А и В**) кои меѓусебно се поврзани со алифатичен С₃ синџир. Помеѓу ароматичните јадра на флавоноидите се формира **хетероцикличен прстен С**. Овој прстен кондензиран со прстенот А формира **бензо-γ-пирон (хромон)** или **бензо-γ-пиран (хроман)**, (**Сл. 1.10**).



Слика 1.10 Основна структура на флавоноиди.

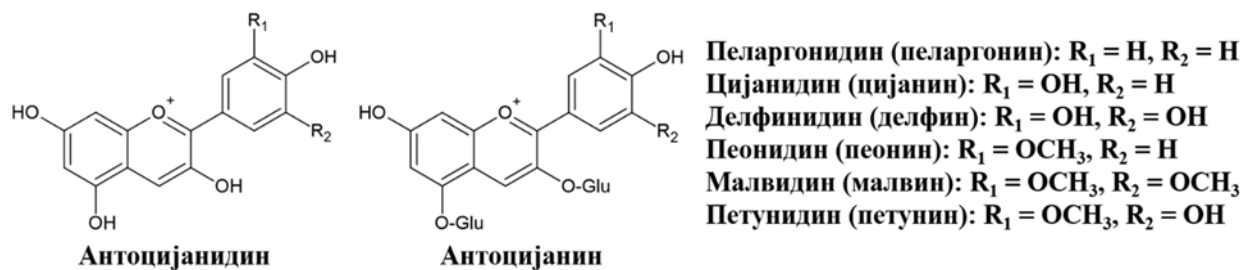
Зависно од типот на хетероцикличниот прстен или поврзувањето на В-прстенот за основната структура, флавоноидите се делат во неколку групи: **флавоени, флавоноли, флаванони, флаваноли, проантоцијанидини, антоцијанидини, халкони, изофлавоени и други**. Овој диверзитет на флавоноидите се базира на хетерогеноста на гените кои кодираат различни ензими од биосинтетските патишта на флавоноидите. Варијабилноста во составот на флавоноидите кај растенијата зависи од возраста на растението, климатските фактори, како и влијанието на различни биотички и абиотички стрес фактори. Флавоноидите главно се наоѓаат во форма на гликозиди поврзани со различни јаглехидрати. Во исхраната, богат извор на флавоноиди се овошје и зеленчук, бобинкасто овошје, зелен и црн чај, кафе, чоколадо, црно вино и житарки.

Ресвератролот (**Сл. 1.11**) е специфичен флавоноид кој ја дава аромата и бојата на грозјето, а учествува во спречување на коагулација на крвта и појава на кардиоваскуларни заболувања. **Куркуминот** (**Сл. 1.11**) од ѓумбир и шафран поседува силен антиоксидантен ефект и се користи за спречување на кардиоваскуларни заболувања.



Слика 1.11 Структура на ресвератрол и куркумин.

Антоцијанините се флавоноидни соединенија со сина, виолетова и црвена боја кои се застапени како пигменти во овошјето и зеленчукот. Антоцијанините се гликозиди на антоцијанидините (C₆-C₃-C₆): цијанидин, делфинидин, пеларгонидин, пеонидин, петунидин и малвидин (Сл. 1.12). Антоцијанините ја менуваат бојата зависно од рН на средината во која се наоѓаат. Така на пр., при рН 1 имаат црвено обојување, помеѓу рН 2-4 добиваат сина боја, а при рН 5-6 се безбојни.



Слика 1.12 Основна структура на антоцијанидини и антоцијани.

Според досегашните истражувања, флавоноидите покажуваат анти-инфламаторно, антиканцерогено, антимикробно, антифунгално, диуретично, хепатопротективно, кардиопротективно, хипогликемично и антиоксидантно дејство (Таб. 1.8).

Табела 1.8 Природни извори и физиолошко дејство на поединечни групи на флавоноиди.

Фенолни соединенија	Извор	Физиолошко дејство
Флавоноли (рутин, кемпферол, кверцетин)	Лук, јаболко, чај, брокула	Неутрализација на слободни радикали (клеточна антиоксидантна одбрана)
Антоцијанидини (цијанидин, делфинидин, малвидин)	Црвени овошја (цреша, грејпфрут)	Антиоксидантна активност и подобрување на мозочна активност
Флаван-3-оли (катехин, епикатехин)	Чај, чоколадо, јаболко, какао	Подобрување на функција на срце
Флаванони (хесперетин и нарингенин)	Цитрусни плодови	Неутрализирање на слободни радикали (силни антиоксиданти)
Проантоцијанидини	Боровница, цимет, јагоди, јаболко, кикиритки	Подобрување на функција на срце и уринарен тракт

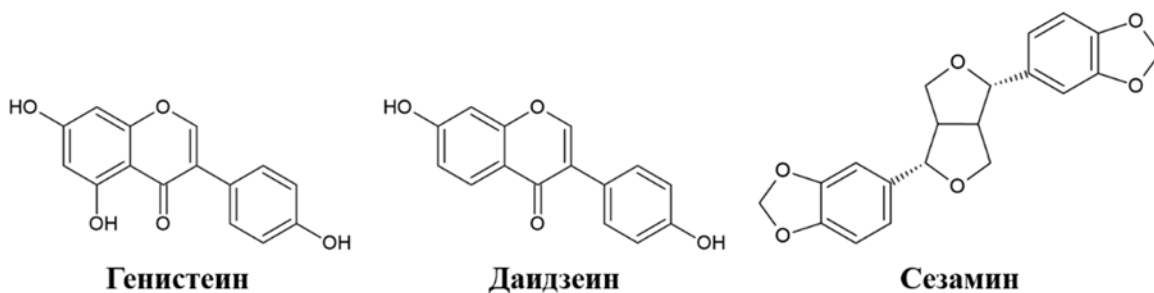
1.4.3 Фитоестрогени

Фитоестрогените се растителни секундарни метаболити кои имаат слична структура и физиолошко дејство како и женските полови хормони (естрогени). Овие соединенија се врзуваат за естрогенските рецептори во организмот и на тој начин можат да го блокираат штетното дејство на естрогенот. Фитоестрогените внесени преку растителна храна или суплементи можат да дејствуваат како слаби естрогени. Тие се застапени кај повеќе од 300

растенија и имаат разлчна хемиска структура. Фитоестрогените по својата структура припаѓаат во две групи на секундарни метаболити:

- **изофлавоноиди (изофлавонони и куместани)** и
- **лигнани**.

Најпознати изофлавонони со фитоестрогенско дејство се **генистеин** и **даидзеин** (Сл. 1.13). Изофлавоноидните фитоестрогени се присутни во семето од лен, тиква, сусам, рж, соја, грав и брокула.



Слика 1.13 Хемиски структури на фитоестрогени.

Структурна сличност на естрадиолот и генистеинот има главна улога во естрогенската активност на изофлавононите. Фитоестрогените можат да имаат естрогенско или антиестрогенско дејство, зависно од количеството на естроген во организмот. Во менопауза кога жената има помалку ендогени естрогени, фитоестрогените се врзуваат на слободните рецептори и дејствуваат како естрогени (Таб. 1.9), а во репродуктивниот период на жената кога нивото на ендогени естрогени е нормално или зголемено, тогаш фитоестрогените се во конкуренција за рецепторните места. Освен фитоестрогени, во соја се наоѓаат и други корисни фитонутриенти со антиканцерогено дејство. Така на пр., изофлавононите од соја имаат способност да го намалат ризикот за појава на рак на дебело црево.

Табела 1.9 Природни извори и физиолошко дејство на фитоестрогени.

Фитоестрогени	Извор	Физиолошко дејство
Изофлавонони (генистеин, даидзеин)	Соја	Зајакнување на коски, подобрување на активност на мозок и имунолошки систем и намалување на симптоми на менопауза кај жени
Лигнани	Ориз, зелка, брокула, карфиол, семе од лен, сусам, пченични ркулци	Подобрување на срцева работа, зајакнување на имун систем, антиестрогенско дејство (намалување на ризик од рак на дојка)

Лигнани се широко распространети во растителниот свет (Таб. 1.10), особено во семе од лен, сусам, пченични ркулци, рж и други видови на зеленчук (брокула) и овошје (јагоди, артичока).

Лигнаните во семето од лен и сусам, како што е сезаминот (Сл. 1.13) имаат антиестрогенско дејство и на тој начин го намалуваат ризикот од појава на рак на дојка.

Табела 1.10 Содржина на лигнани кај некои растенија и природни производи.

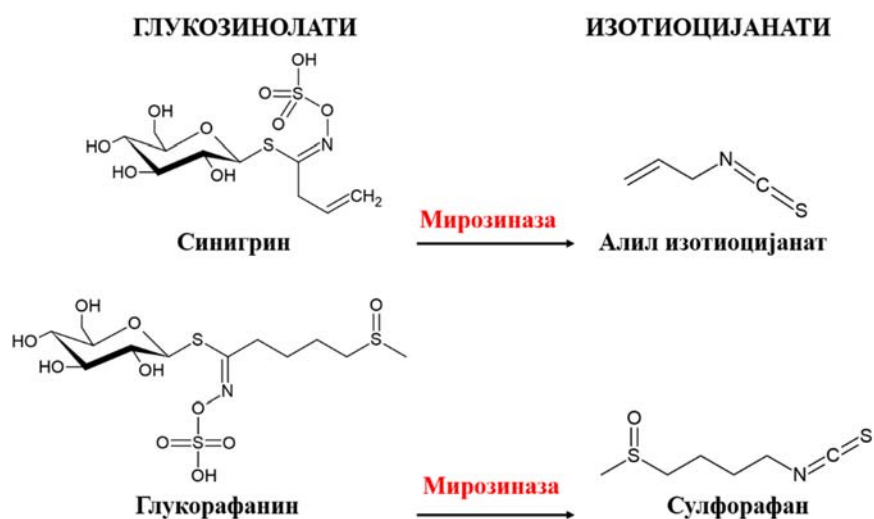
Извор	Содржина ($\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$)
Ленено семе	300000
Сусамово семе	29000
Зелки	185-2321
Житарици	7-764
Црвено вино	91

Изофлавоноидите и лигнаните по модификацијата во дебело црево се апсорбираат и преработуваат во црниот дроб, а нивните деградациони производи можат да се детектираат во урината.

1.4.4 Изотиоцијанати, глюкозинолати и фитостероли

Изотиоцијанати се соединенија со хемиска група $-\text{N}=\text{C}=\text{S}$ која се формира со замена на сулфур на местото на кислород во изоцијанатната групата ($-\text{N}=\text{C}=\text{O}$). Изотиоцијанати кај растенијата се формираат со ензимска конверзија на глюкозинолатите (Сл. 1.14) кои претставуваат органски соединенија со сулфур и азот, а се добиваат од глюкоза и аминокиселини.

Во природата се познати околу 80 различни глюкозинолати. Растенијата синтетизираат глюкозинолати како природни одбранбени метаболити против инсекти. Глюкозинолатите се одговорни за горчливиот и остар вкус на голем број растенија од фамилијата *Brassicaceae* кои се користат во исхраната, како што се синап, ротквица, рен, зелка, карфиол, брокула и репка. Карактеристични глюкозинолати кај овие растенија се **синигрин** и **глукорафанин**, кои под дејство на растителниот ензим **мирозиназа** се конвертираат во изотиоцијанатите **алил изотиоцијанат** и **сулфорафан**, соодветно (Сл. 1.14).



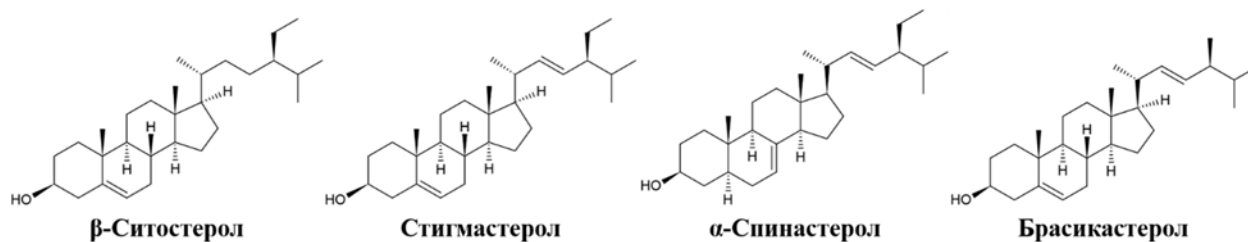
Слика 1.14 Структурна формула на глюкозинолати и изотиоцијанати.

Глукозинолатите и нивните производи покажуваат антиоксидантно, кардиопротективно и антиканцерогено дејство (Таб. 1.11). Антиканцерогеното дејство на глукозинолатите и нивните метаболити (изотиоцијанати, тиоцијанати и индоли) се базира на способноста за блокирање на разни ензимски процеси на формирање на проканцерогени и канцерогени соединенија, како и индукција на некои ензими (глутатион-*S*-трансфераза) кои учествуваат во инактивација на канцерогените соединенија. Изотиоцијанатите, индолите и сулфорафанот од брокула, кел, прокел, зелена салата и зелка ги стимулираат антиоксидантните ензими и го намалуваат ризикот за појава на канцер. Исто така, индолите и сулфорафанот покажуваат анти-естрогенско дејство и имаат важна улога во спречување на појава на канцер на дојка.

Табела 1.11 Природни извори и физиолошко дејство на изотиоцијанати, глукозинолати, индоли и фитостероли.

Деривати на глукозинолати и фитостероли	Извор	Физиолошко дејство
Глукозинолати, сулфорафан,	Брокула, карфиол	Антиоксидантен и антиканцероген ефект, детоксификација на токсични компоненти
Слободни стероли	Пченка, соја	Намалување на ризик од болести на кардиоваскуларен систем
Естри на стероли	Фортифицирани грицки, суплементи	Намалување на ризик од болести на кардиоваскуларен систем
Индоли	Лиснат зеленчук	Намалување на ризик од рак на дојка

Фитостеролите се полициклични стероидни соединенија кои се присутни кај растенијата во слободна форма или конјугирани за јаглехидрати или масни киселини. Овие соединенија се присутни во мали количества во растителните масла, како што се пченкарно масло, соино масло и масло од семки од тиква (Таб. 1.11). Од растителните масла е изолиран комплекс од фитостероли составен од кампестерол, стигмастерол и брасикастерол кој е наречен **холестатин**. Холестатинот се користи во комерцијална форма како додаток во исхраната. Маслото од семки на памук и соја најчесто ги содржат фитостеролите β -ситостерол и стигмастерол. Главни изомери на стигмастерол се α -спинастерол во спанаќ, фукостерол во габи, брасикастерол и кампестерол во зелка (Сл. 1.15).



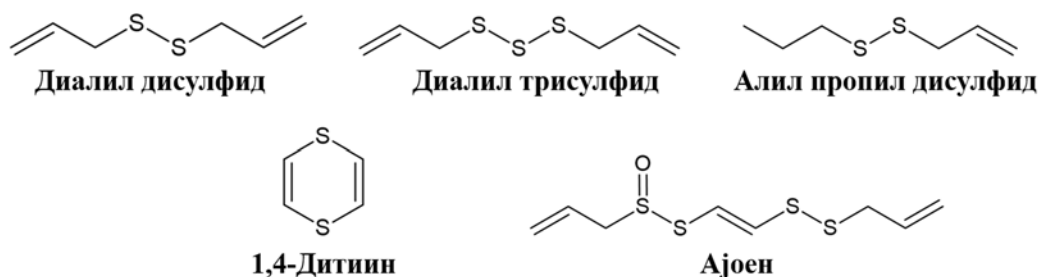
Слика 1.15 Структура на фитостероли.

1.4.5 Сулфиди-тиоли

Лукот и другите луковици (кромид, праз) содржат сулфиди кои покажуваат антимикробно, антиоксидативно и антиканцерогено дејство. Црвениот и белиот кромид се богати со биолошки активни компоненти кои содржат сулфур во својата структура и овие соединенија се одговорни за остриот (продорен) мирис. Кромидот содржи најголем број сулфурни соединенија во споредба со сите други растенија. Овие сулфурни соединенија од кромидот биле предмет на голем број научни истражувања поради нивниот потенцијал како ароматични и биолошки активни компоненти. Во состав на кромидот освен сулфурни соединенија влегуваат и други биолошки активни супстанции:

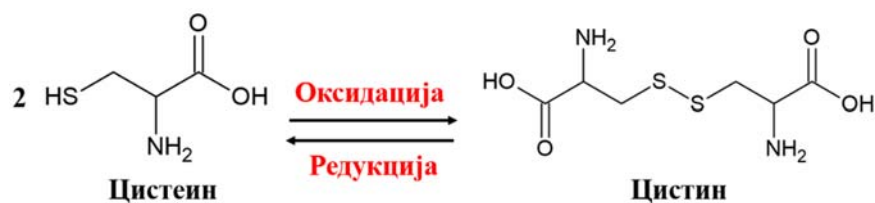
- флавоноидни пигменти (цијанидин, пеларгонидин),
- фенолни соединенија (кверцетин, гарлицин, кафена киселина, ферула киселина),
- витамини (витамин С, витамин В₆, фолати, тиамин),
- ензими (оксидази),
- минерали (сулфур, калиум, калциум, цинк, селен).

Црвениот кромид содржи **алил-пропил дисулфид**, а белиот кромид е богат со **алицин**, **диалил дисулфид** и **диалил трисулфид** (Сл. 1.17). Сулфурот влегува во состав и на протеините од кромидот преку тиолните групи на аминокиселините цистеин и метионин.



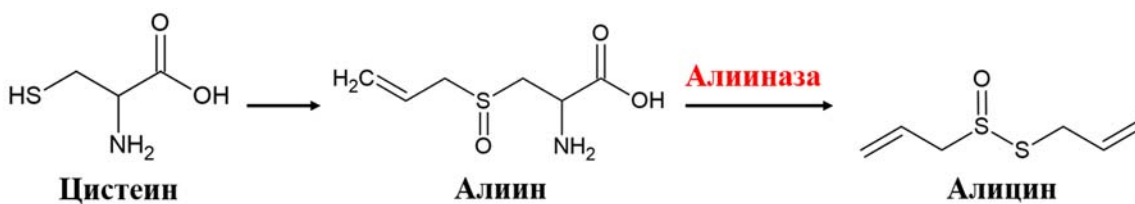
Слика 1.17 Структура на сулфиди-тиоли.

Тиолните групи (-SH) имаат значајна улога во оксидо-редукциските реакции во биолошките системи. Во процесот на оксидација на две молекули на цистеин може да се формира цистин кој содржи дисулфидна врска и оваа реакција е реверзибилна (Сл. 1.18). Дисулфидната врска кај цистинот има есенцијално значење во одржување на структурата на голем број протеини. Исто така, цистеинот е вклучен во реакции на трансфер на електрони и ензимски катализирани реакции. Важно е да се напомене дека цистеинот е составна компонента на глутатионот, како еден од најсилните антиоксиданти.



Слика 1.18 Оксидација на цистеин во цистин.

Мирисот на кромид и други претставници на родот *Allium* (црвен кромид и праз) се базира на присуството на органските сулфурни компоненти, **алицин** и **диалил дисулфид** (Сл. 1.17). Интересен е податокот дека во цитоплазмата на интактни клетки од кромид е присутен сулфоксидот алиин како дериват на аминокиселината цистеин кој е безбоен, без мирис и се раствора во вода. Во внатрешноста на клеточните вакуоли се наоѓа ензим познат како алиназа. При нарушување на интегритетот на клетките од кромид (дробење, сечење) се ослободува ензимот **алииназа** кој врши конверзија на природниот **алиин** во **алицин** (Сл. 1.19). Алициноот е одговорен за карактеристичниот мирис на лукот и претставува многу реактивно соединение кое е слабо растворливо во вода и може да се разгради преку загревање до полисулфиди.



Слика 1.19 Конверзија на алиин во алицин.

Диалил сулфидот кој е одговорен за уникатниот мирис на кромидот ја инхибира трансформацијата на хетероцикличниот амин означен како PhIP [2-амино-1-метил-6-фенилимидазо(4,5-b)пиридин] кој е присутен во термички обработено месо во канцерогени соединенија. Всушност, антиканцерогениот ефект на диалил сулфидот се базира на намалена продукција на ензимите во црниот дроб (CYP1A1, CYP1A2 и CYP1B1) кои го трансформираат PhIP во канцерогени супстанции (Таб. 1.12). Исто така, кромидот има протективна функција на голем број дегенеративни процеси, како ретинопатија, нефропатија и невропатија кои можат да бидат предизвикани од дијабет при прекумерна продукција на слободни радикали или намалено дејство на антиоксидантите.

Табела 1.12 Природни извори и физиолошко дејство на сулфиди-тиоли.

Сулфиди-тиоли	Извор	Физиолошко дејство
Диалил сулфид, алилметил трисулфид	Кромид и лук	Подобрување на срцева работа, зајакнување на имунитет, детоксификација на токсини и антиканцероген ефект
Дитиини, ајоен,	Кромид	Анти-тромбоцитен ефект (инхибирање на агрегација на тромбоцити)

Специфичниот и непријатен мирис на етерично масло од лук произлегува од присуството на диалилдисулфид и диалилтрисулфид. Лукот е богат и со други соединенија кои содржат сулфур како што се **дитиините**, меѓу кои најпознат е **ајоен** (Сл. 1.17). Ајоенот се формира при кондензација на две молекули алицин во кисела средина. Ајоенот покажува антитромбоцитно дејство преку инхибирање на агрегацијата на тромбоцити (Таб. 1.12). Кромидот еден од најголемите резервоари на калциум од растително потекло и затоа се користи за превенција и лекување на остеопороза.

1.4.6 Монотерпени

Монотерпените ($C_{10}H_{16}$) се вбројуваат во класата на терпеноиди и се изградени од две изопренски единици. Овие соединенија можат да бидат испарливи монотерпени или лактони. Монотерпените се карактеризираат со антиканцерогено дејство, бидејќи ја спречуваат активацијата на онкогени (Ras-онкогени). Монотерпените се присутни во масло од цитрусни плодови (D-лимонен) и масло од анасон (D-карвон). Според клиничките истражувања, овие соединенија ја спречуваат појавата на канцер на желудник, црн дроб, дојка и бели дробови (Таб. 1.13).

Табела 1.13 Природни извори и физиолошко дејство на монотерпени.

Монотерпени	Извор	Физиолошко дејство
D-Лимонен	Цитрусни плодови	Антиканцерогено дејство преку инхибирање на развојот на рак на желудник, црн дроб, дојка и бели дробови.
D-Карвон	Анасон	Ремисија на тумор на дојка.

1.4.7 Алкалоиди

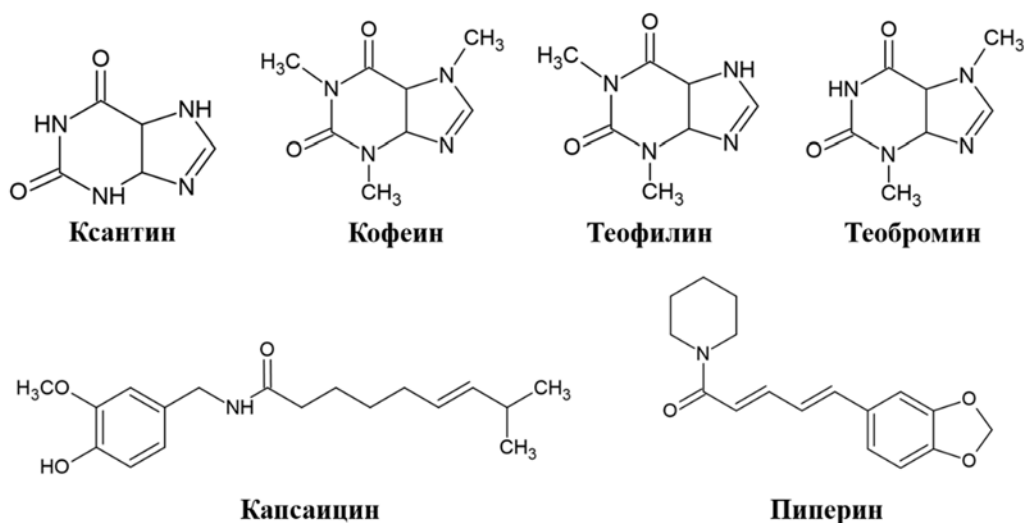
Алкалоидите се посебна класа на секундарни метаболити кои поседуваат хетероциклични соединенија со присуство на азот во структурата како носител на базните особини. Алкалоидите се присутни во овошје, зеленчук, зачински и лековити растенија.

Според структурата, алкалоидите можат да се поделат во три групи:

- **протоалкалоиди** се прости амини кај кои азотот не е дел од хетероцикличниот прстен, туку во страничната низа,
- **псевдоалкалоиди** се стероидни или терпенски алкалоиди кои не се синтетизираат од аминокиселини,
- **вистински алкалоиди** кои се синтетизираат од аминокиселините и азотот е дел од хетероцикличниот прстен.

Карактеристични претставници на протоалкалоидите се биогените амини, како што е хистаминот кој е застапен во мали количества во пиво и некои риби. Од групата на псевдоалкалоиди познати се стероидни и дитерпенски алкалоиди кои се наоѓаат во различни видови овошје и зеленчук. Во секојдневната исхрана најмногу се конзумираат вистинските алкалоиди (Сл. 1.20): **кофеин** од кафе, **теобромин** и **теофилин** од зелен и црн чај, **капсаицин** од пиперка, **пиперин** од бибер и други. Алкалоидите освен што ја олеснуваат дигестијата на храна, тие имаат и фармаколошко дејство. Овие соединенија немаат енергетска вредност, а во организмот се метаболизираат слично како и лековите.

Ксантинот е пуринска база која се наоѓа во телесните ткива и течности. Во исхраната се внесуваат метилирани деривати на ксантинот, како што се кофеин, теофилин, теобромин и параксантин. Овие деривати на ксантинот имаат слична структура, а се разликуваат според бројот на метилни групи (Сл. 1.20). Луѓето секојдневно ги конзумираат овие алкалоиди преку кафето и чајот во форма на топли и ладни пијалоци. Исто така, ксантините се присутни во суви или ферментирани природни производи (кафе, чај, какао), како и во различни индустриски прехранбени производи (освежувачки пијалоци кола, енергетски пијалоци, производи од какао, бисквити и вафли, бонбони).



Слика 1.20 Структура на алкалоиди кои се присутни во храната.

Кофеинот (Сл. 1.20) е најпознат алкалоид застапен во кафето, чоколадо, лекови против болка, како и во препарати за контролирање на телесна тежина и слабеење, препарати против симптоми на настинка и козметички препарати.

Теофилинот (Сл. 1.20) и **теоброминот** (Сл. 1.20) претставуваат горчливи алкалоиди изолирани од какао (*Theobroma cacao*) и се присутни во сите производи од какао.

Капсаицинот (Сл. 1.20) е алкалоид и фармаколошки активна компонента изолирана од пиперката. Капсаицините се амидни алкалоиди кои припаѓаат во групата на протоалкалоиди бидејќи атомот на азот се наоѓа надвор од хетероцикличниот прстен и не поседуваат базни особини. Капсаицинот е природен алкалоид кој е одговорен за карактеристичниот лут вкус на пиперката. Чувството на лутина кое го создаваат капсаицините не е вкус, туку чувство на топлина кое го предизвикуваат овие соединенија. Всушност, капсаицините дејствуваат на нервните завршетоци во кожата и примарно предизвикуваат чувство на топлина, а секундарно предизвикуваат хиперемича на кожата. Капсаицините можат да дејствуваат како контактен иритант и рубефациенс (агенс кој предизвикува црвенило на кожата поради дилатација на капилари). Екстрактите од пиперка или растворот од капсаицин се користат екстерно за ублажување на болки при појава ревматизам или лумбаго. Исто така, препаратите од пиперка поради својот лут вкус се користат за зголемување на апетитот и дигестија на храната.

1.4.8 Гликозиди

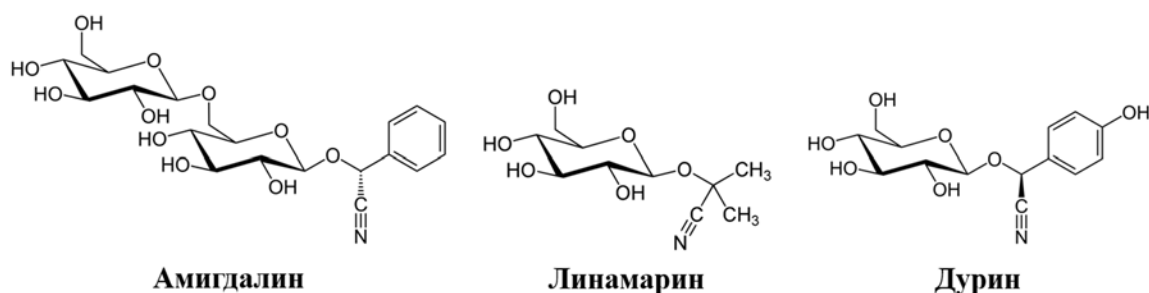
Гликозиди или **хетерозиди** се конјугирани органски соединенија составени од јагленхидратна компонента (гликон) и нејагленхидратни компоненти (агликони). Во состав на гликозидите влегуваат моносахаридите глукоза, галактоза, ксилоза, арабиноза и рамноза. Во литературата често пати наместо терминот гликозид се корисити терминот хетерозид, бидејќи во нивниот состав освен глукоза можат да бидат застапени и други моносахариди.

Според видот на јагленхидрати, гликозидите можат да се именуваат како **глукозиди**, **галактозиди**, **рамнозиди**, **арабинозиди** и други. Ако гликозидот содржи повеќе молекули на јагленхидрати, тие меѓусебно се поврзуваат и формираат олигосахарид. Според бројот на

јаглехидратни молекули се разликуваат **моногликозиди, дигликозиди, тригликозиди** и.т.н. Според хемискиот состав, агликоните се хетерогени соединенија, кои можат да бидат алкохоли (кониферил алкохол), киселини (бензоева киселина), алдехиди (салицил алдехид), кумарини, ксантони, флавоноиди и други. Јаглехидратот најчесто се поврзува за агликонот преку кислородот (кислородни гликозиди), а поврзувањето може да биде и преку сулфур (тиогликозиди) или азот (азотни гликозиди).

Гликозидите се широко распространети во вегетативните и репродуктивните органи на растенијата, а во храната на човекот се застапени во траги. Мали количества на гликозиди се наоѓаат во плодовите од овошје и зеленчук. Антоцијанидините, флавоните и флавонолите најчесто се наоѓаат во врзана форма како гликозиди кои се растворени во клеточниот сок. Гликозидите на антоцијанидините се познати како антоцијани и имаат црвена до сина боја. Флавоните и нивните флавоногликозиди во растенијата имаат бледо жолта боја.

Гликозидите можат да се класифицираат и според хемиската структура на агликонот. Така на пр., во семето на растенијата се присутни **цијаногените гликозиди амигдалин, линамарин и дурин** (Сл. 1.21) кои содржат цијановодородна киселина (HCN). Амигдалинот е одговорен за горчливиот вкус на бадемите и со негова хидролиза се ослободуваат две молекули на глукоза, бензалдехид и цијановодородна киселина. Некои видови на зачински растенија содржат тиогликозиди, како што е семето од синап и лукот. Флавоноидните гликозиди како агликонска компонента содржат бензопиран (флаван) и тука се вбројуваат халкони, флаванони, флаваноли, флаволи и други флавоноиди кои поседуваат фармаколошко дејство. Карактеристичен пример за гликозид со фенолно соединение како агликон е салицинот кај врба и топола.



Слика 1.21 Структура на цијаногени гликозиди.

Во фармацијата се користат **кардиотоничните гликозиди** за лекување на срцева инсуфициенција. Кардиотоничните гликозиди се сапонини кои содржат стероидни или тритерпенски соединенија како агликонска компонента. Овие соединенија се присутни во шампони, лосиони и други козметички средства.

1.4.9 Полиоли

Полиолите се шеќерни алкохоли кои се добиваат преку каталитичка редукција на јаглехидратите. Овие соединенија се застапени кај некои овошја и зеленчук. **Сорбитолот** е карактеристичен полиол со 6 C-атоми кој се добива со редукција на глукоза и најчесто е присутен во слива, праска, јаболко и круша. Поради слаткиот вкус, сорбитолот се користи како засладувач во производството на гуми за цваќање, сладоледи и различни сирупи. Консумирањето на храна богата со сорбитол има лаксативен ефект и стимулира

перисталтика на цревата. Сорбитолот се користи и како додаток во средствата за плакнење на уста и пастите за заби за намалување на ризикот од појава на кариес на забите. Во прехранбената индустрија се користат и други полиоли, како ксилитол, манитол и лактитол.

1.4.10. Сирови растителни влакна

Денес е познато дека храната богата со зеленчук и нехидролизирачки материи се користи во различни стадиуми од канцерогенезата поради нивното хемопревентивно дејство. Антиканцерогено дејство на овошјето, зеленчукот и житариците се должи на присуството на антиоксидантни соединенија, како и на биоактивни материи. Во средината на минатиот век биле објавени неколку податоци дека болестите кои се јавуваат кај црната раса во Африка значајно се разликуваат од болестите на „цивилизација“ кај белата раса. Според овие податоци, кај црната раса многу ретко се јавува опстипација, дивертикулоза на дебело црево, хемороиди, рак на дебело црево, коронарна болест на срцето и камења во жолчното кесе. Овие разлики во патолошките состојби се базираат на разликите во исхраната помеѓу црната и белата популација. Притоа, црната популација главно се храни со овошје и зеленчук кои се богати со растителни влакна, додека пак, белата раса во САД, Велика Британија и европските земји претежно консумираат рафинирани производи. Затоа, кај белата популација постои висока инциденца за појава на опстипација, рак, дијабетес и коронарни болести на срцето. Освен исхраната, разликите во патолошките состојби се должат на консумирање на храна богата со масти, седентарен начин на живот и стрес.

Растителните влакна се составни делови на растителните клетки кои при нивна ингестија не подлежат на дигестија во тенкото црево, а само делумно можат да се разградат во дебелото црево под дејство на бактериите. Влакната најчесто се составени од сложени јаглехидрати: целулоза, хемицелулоза, пектин, лигнин, растителни смоли и гуми. Според растворливоста во вода, растителните влакна можат да се поделат како **нерастворливи влакна** и **растворливи влакна**. Нерастворливите влакна имаат главна улога во превенција од интестинални (дигестивни) нарушувања, додека пак, растворливите влакна се користат за регулирање на дијабет, намалување на холестерол во крвта и намалување на гојазноста. За разлика од макронутриентите, растителните влакна немаат енергетска или калорична вредност. Сепак, консумацијата на растителна храна богата со влакна претставува значаен извор на витамини и минерали кои имаат есенцијална улога во човековиот организам. Главни нерастворливи влакна се: **целулоза, хемицелулоза, инулин и лигнин**. Природни извори на целулоза се интегрално и црно брашно, зелка, млад грашок, кел, кора од краставица, пиперка, јаболко и репка.

Лигнинот е полимерно фенолно соединение кое е присутно во секундарните клеточни сидови и имаат значајна улога за потпора и цврстина кај растенијата. Исто така, лигнинот е составна компонента на површинските слоеви кај некои семиња. Лигнинот е составен од голем број ароматични соединенија и затоа не се раствора во вода, киселини и бази. Главни извори на лигнин се зрел зеленчук, домати, јагода, круша и ротквица. Лигнинот ја намалува дигестијата во дигестивниот систем и има способност да се врзува за жолчните киселини, при што се намалува апсорпцијата на холестеролот.

Целулоза и **хемицелулоза** се структурни полимерни јаглехидрати составени од мономерни единици на глукоза кои не се хидролизираат во дигестивниот систем и од организмот се ослободуваат во непроменета форма. Само мал дел од целулозата и хемицелулозата може да се разгради преку ферментација од страна на бактериите кои ја

претставуваат микрофлората во дебелото црево. Растителните влакна составени од целулоза и хемицелулоза стимулираат празнење на цревата и имаат висок капацитет за врзување на водата, дури и 15 пати повеќе од нивната вкупна маса. Исто така, целулозните влакна можат да апсорбираат и некои нутритивни или токсични материи. Во житариците се присутни и **β-грукани** кои се полимери на глукозата и имаат значајна улога во намалување на концентрацијата на холестерол во циркулацијата.

Во растворливи влакна се вбројуваат **пектини, гуми и слуз**. Пектините се структурни хетерополисахариди кои се составени главно од галактуронска киселина и најчесто се застапени во јаболката, крушите, кората од портокал и лимон и други видови овошје и зеленчук. Пектините се користат како гелирачки додатоци и стабилизатори во прехранбената индустрија. Гумите се користат како хидроколоиди во висококалорични кондиторски производи од овошје и зеленчук. Слuzта е полимер на јаглехидратите која најчесто е застапена во семињата и кај растенијата служи како средство кое го спречува сушењето. Големо количество на слуз се наоѓа во алгите и морските треви.

Табела 1.14 Природни извори и физиолошко дејство на растителни влакна.

Растителни влакна	Извор	Физиолошко дејство
Нерастворливи влакна	Пченични лушпи	Подобрување на дигестија и функција на дигестивен систем
β-D-Грукани	Житарици	Намалување на ризик од појава на срцеви болести
Растворливи влакна	Семки од мешунки	Намалување на ризик од појава на кардиоваскуларни заболувања
Полно зрнести житарици	Производи со полнозрнести житарици	Намалување на ризик од појава на кардиоваскуларни заболувања и канцер. Одржување на содржината на глукоза во крвта

Јаглехидратните растителни влакна во дебелото црево можат да се ферментираат и деградираат под дејство на цревните бактерии до кратковерижни масни киселини, при што настанува ослободување на гасови во дебелото црево. Растителните влакна подлежат на различен степен на ферментација во дебелото црево зависно од нивната растворливост. Нерастворливите влакна составени од целулоза и хемицелулоза не подлежат на ферментација во дебелото црево. Од друга страна пак, растворливите влакна интензивно се разградуваат и се создаваат масни киселини кои организмот ги користи како енергетски материјал. Формираните масни киселини се апсорбираат во дебелото црево и преку циркулацијата доаѓаат до клетките на црниот дроб како новосоздадена енергија. Масните киселини можат да се разложат и до кетонски тела, при што во дебелото црево се ослободуваат гасови како CO₂, H₂ или CH₄. Испуштањето на гасови настанува кога дебелото црево нема капацитет за нивна апсорпција. Дел од ослободените гасови во дебелото црево навлегуваат во крвоток и преку белите дробови и дишењето се ослободуваат од телото.

Во исхрана на возрасни индивидуи се препорачува дневно консумирање на 25-35 g растителни влакна. Истражувањата покажуваат дека луѓето преку дневната исхрана внесуваат само 50% од препорачаната доза на диетални влакна (околу 12 g), што може да предизвика отежнато варење, опстипација и други заболувања. Деца над двегодишна возраст треба дневно да внесуваат околу 10 g растителни влакна. Особено е важно

подеднакво да се внесуваат растворливи и нерастворливи влакна. Растителните влакна даваат чувство на ситост и го намалуваат апетитот и прекумерното консумирање на храна.

Овесните снегулки претставуваат нетретирана природна храна која се произведува од целото зрно и се карактеризираат со висока содржина на растителни влакна. Овие производи се консумираат како додатоци во исхрана доколку постојат проблеми со опстипација. Овесните снегулки треба да се консумираат со големи количества на течности, бидејќи во екстремни случаи може да дојде до опструкција на цревата.

1.4.11. Масни киселини

Масните киселини претставуваат карбоксилни киселини со долги алифатични синцири. Во зависност од степенот на сатурација, масните киселини можат да бидат **заситени**, **мононезаситени** и **полинезаситени** (Таб. 1.15). Зависно од должината на алифатичниот синцир се разликуваат **кратковерижни**, **средноверижни** и **долговерижни масни киселини**. Точката на топење на масните киселини зависи правопрпорционално од должината на алифатичниот синцир, а обратнопрпорционално од степенот на незаситеност. Во тој контекст, долговерижните масни киселини имаат повисока точка на топење од кратковерижните масни киселини, а полинезаситените масни киселини имаат ниска точка на топење во споредба со заситените масни киселини.

Заситените масни киселини не поседуваат двојни врски во структурата и сите јаглеродни атоми се заситени со водород. Овие масни киселини доминираат во мастите кои имаат цврста конзистенција на собна температура (масти од животинско потекло). Мононезаситените масни киселини имаат една двојна врска и најчесто се застапени во масти кои имаат течна конзистенција при собна температура. Масните со мононезаситени масни киселини најчесто имаат растително потекло и се нарекуваат **растителни масла** (Таб. 1.15). Исклучок од растителните масла е палиминото масло кое има цврста конзистенција на собна температура. Најраспространетата масна киселина од групата на мононезаситени масни киселини е **олеинска киселина** (Сл. 1.22, Таб. 1.16) како главна компонента на маслиновото масло. Олеинската киселина има само една двојна врска која се наоѓа помеѓу C_9 и C_{10} и затоа се вбројува во ω -9 масни киселини.



Слика 1.22 Структура на масни киселини.

Животинските масти содржат високо количество на заситени масни киселини, особено **стеаринска киселина** и **палмитинска киселина**. Во најголем број случаи, животинските масти се цврсти на собна температура, со исклучок на животинските масла од рибите во северните мориња. Полинезаситените масни киселини (**Таб. 1.15**) најчесто се застапени во маслата кои се течни на собна температура (маслиново масло, соино масло, сончогледово масло, масло од маслодајна репка).

Табела 1.15 Природни извори и физиолошко дејство на масни киселини.

Масни киселини*	Извор	Физиолошко дејство
Мононезаситени масни киселини	Јаткасто овошје	Намалување на ризик од кардиоваскуларни заболувања
Полинезаситени масни киселини (ALA)	Јаткасто овошје	Одржување на ментални функции и подобрување на видот
Полинезаситени масни киселини (DHA и EPA)	Масло од туна, лосос и други морски риби	Намалување на ризик од кардиоваскуларни заболувања, одржување на ментални функции и подобрување на видот
Полинезаситени масни киселини (CLA)	Говедско и јагнешко месо, млеко и млечни производи	Подобрување на телесна форма и зајакнување на имунолошки систем

* ALA: α -линоленска киселина, DHA: докосахексаенска киселина, EPA: еикосапентаенска киселина, CLA: Конјугирана линолна киселина.

За нормално функционирање на човечкиот организам е потребен целосен спектар од незаситени масни киселини, бидејќи претставуваат составен дел од клеточните структури и соединенија. Најголем дел од незаситените масни киселини се создаваат во организмот и нивното формирање зависи од присуството на есенцијални масни киселини кои се внесуваат во организмот преку исхраната. На човечкиот организам му се потребни само две есенцијални масни киселини: **линолна киселина (LA)** од групата на ω -6 масни киселини и **α -линоленска киселина (ALA)** од групата на ω -3 масни киселини (**Сл. 1.22, Таб. 1.16**). Линолната киселина има 2 двојни врски, од кои првата се наоѓа помеѓу C₆ и C₇ и затоа се вбројува во ω -6 масни киселини. α -Линоленската киселина има 3 двојни врски, од кои првата се наоѓа помеѓу C₃ и C₄ и се вбројува во ω -3 масни киселини. α -Линоленската киселина (ALA) во организмот се разложува на докосахексаенска киселина (DHA) и еикосапентаенска киселина (EPA), (**Сл. 1.22, Таб. 1.16**). Оваа конверзија на ALA кај здрави возрасни индивидуи се одвива релативно бавно: околу 15% ALA се разградува во EPA, а само околу 5% се разградува во DHA.

Полинезаситените масни киселини (LA, ALA и арахидонска киселина-AA) се вбројуваат во есенцијални компоненти во храната, бидејќи не можат да се синтетизираат во човековиот организам. Есенцијалните масни киселини имаат значајна улога во организмот како структурни единици на голем број хормони и соединенија (простагландини, леукотриени и тромбосани) и претставуваат есенцијални компоненти на клеточните мембрани. Така на пр., консумацијата на маслото од ленено семе кое е богато со

есенцијалните масни киселини (LA и ALA) има стимулативно дејство врз имунолошкиот систем преку спречување на синтеза на цитокини како инфламаторни соединенија. Од друга страна пак, недостатокот на есенцијални масни киселини предизвикува загуба на вода, различни дерматози и периферна невропатија.

Табела 1.16 Структура и природни извори на незаситени масни киселини.

Степен на незаситеност	Масни киселини*	Број на С-атоми	Број на двојни врски	Извор
Мононезаситени масни киселини	Олеинска киселина	18	1	Ореви, маслинки и кикиритки
Полинезаситени масни киселини (ω -6)	Линолна киселина	18	2	Сончоглед, сусам пченка и соја
	Арахидонска киселина	20	4	Жолчка и говедски масти
Полинезаситени масни киселини (ω -3)	α -Линоленска киселина	18	3	Семе од тиква и ореви
	EPA	20	5	Рибино масло
	DHA	22	6	Рибино масло

* DHA: докосахексаенска киселина, EPA: еикосапентаенска киселина.

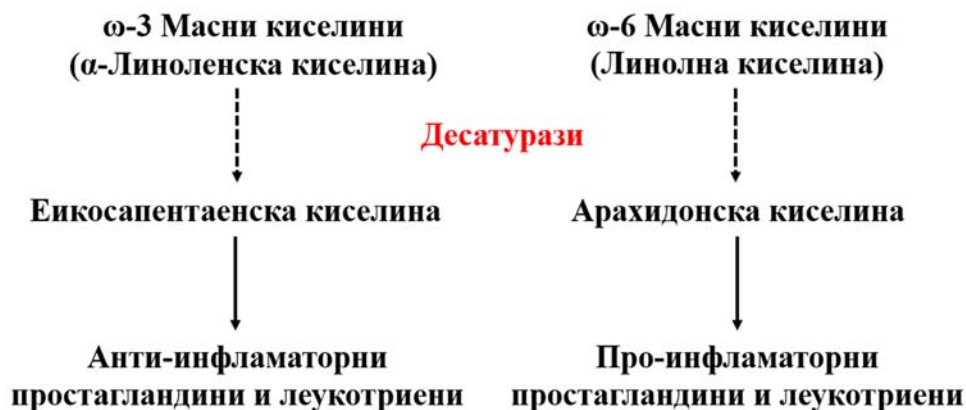
ω -3 и ω -6 Масни киселини. На почетокот на XX-тиот век било потврдено дека Ескимите консумираат исклучиво месо и масти од риба богати со ω -3 масни киселини и не заболуваат од срцев удар. Проценка на квалитетот на месото од риба или рибиното масло опфаќа анализа на две клучни ω -3 масни киселини: EPA ($C_{20:5}$) со 5 двојни врски и DHA ($C_{22:6}$) со 6 двојни врски. Во групата на ω -3 масни киселини се вбројува и ALA ($C_{18:3}$) со 3 двојни врски која не е застапена во рибиното масло, а е присутна во маслото од ленено семе. Возрасните индивидуи можат да синтетизираат ω -3 масни киселини, меѓутоа овој механизам често пати е дифецитарен и затоа се препорачува исхрана со морска храна која е богата со овие масни киселини. ω -3 Масните киселини имаат есенцијално значење кај метаболизмот на предвремено родени деца и доенчиња со мала телесна маса.

Древните луѓе живееле покрај океани или планински предели и преживувале од исхраната со риби или растенија богати со голема количина на ALA. Клетките на човекот имаат способност за конверзија на ALA во EPA. Исхраната на луѓето за време на палеолитот била богата со морски риби и растенија богати со ω -3 масни киселини, а сиромашна со ω -6 масни киселини. Овој однос кој се изразува како **ω -6: ω -3** изнесувал приближно 1:1. Од друга страна пак, денешната исхрана е побогата со ω -6 масни киселини кои потекнуваат од животински масти или растителни масла од пченка и сончоглед, при што односот ω -6: ω -3 изнесува од 8:1 па дури до 20:1.

Кај растенијата, ω -6 масните киселини се повеќе распространети во споредба со ω -3 масните киселини. Животните немаат капацитет за конверзија на ω -6 во ω -3 масни киселини. Метаболизмот на човекот има способност за додавање на двојни врски кај ALA и формирање на EPA и DHA, само во услови на низок ω -6: ω -3 однос. Во тој контекст, високата содржина на ω -6 масни киселини во исхраната спречува конверзија на ALA во подолги масни киселини како EPA и DHA. Масите кои содржат ω -масни киселини се нестабилни и лесно подлежат на оксидација, при што се формираат липидни пероксиди и

други оксидациски производи. Затоа, овие масти се пакуваат во темна амбалажа која е непропустлива за светлина и при пакувањето се додаваат антиоксиданси.

Метаболизам на ω -3 и ω -6 масни киселини. Важно е да се напомене дека ω -3 и ω -6 масните киселини се метаболизираат до **простагландини (еикосаноиди)**, кои претставуваат липидни соединенија со физиолошко дејство на хормони со анти- или про-инфламаторна активност (Сл. 1.23). Формираните простагландини учествуваат во регулација на голем број физиолошки процеси во организмот, како што се работа на срце, бубрези, црн дроб и создавање еритроцити во коскената срцевина.



Слика 1.23 ω -Масните киселини можат да учествуваат во синтеза на про-инфламаторни или анти-инфламаторни простагландини.

Покрај односот ω -3: ω -6 масни киселини, особено значење има односот на арахидонска киселина (АА) и еикосапентаенска киселина (ЕРА), бидејќи овој однос има големо значење во биосинтезата на простагландини и леукотриени кои дејствуваат како про-инфламаторни или анти-инфламаторни соединенија. Во некои земји (САД), здравствената состојба на организмот се следи преку дијагностички методи кои опфаќаат анализа на односот АА:ЕРА. Според тоа, здравствената состојба на човековиот организам може да се одреди според вредностите на односот АА:ЕРА кој се однесува на содржината на масни киселини во крвната плазма (Таб. 1.17).

Табела 1.17 Влијание на односот арахидонска киселина (АА):еикосапентаенска киселина (ЕРА) врз здравствената состојба на организмот.

Однос АА:ЕРА	Здравствена состојба
1,5	Идеална состојба
3	Добра состојба
3-10	Развиток на акутни заболувања
10-15	Развиток на хронични заболувања
> 15	Активни хронични заболувања

ω -3 Масните киселини имаат голема улога во целокупното здравје на човечкиот организам. Овие соединенија учествуваат во функционирањето на нервното ткиво и

мрежницата на окото. Всушност, ω -3 масните киселини имаат есенцијално значење за когнитивната функција на мозокот, меморирањето и одржувањето на видот. Исто така, ω -3 масните киселини се клучни за вијабилноста на клетките, бидејќи претставуваат составен дел од клеточните мембрани. ω -3 Масните киселини покажуваат значајни ефекти врз физиологијата на кардиоваскуларниот систем преку:

- намалување на ризик од појава на кардиоваскуларни болести,
- заштита од појава на аритмија,
- намалување на крвен притисок,
- намалување на содржина на холестерол во крвта и липидемија,
- подобрување на квалитетот на живот кај лица кои преживеале инфаркт на срце,
- анти-инфламаторно и вазодилаторно дејство.

ω -3 Масните киселини ја подобруваат здравствената состојба кај пушачи, пациенти со бронхијална астма и бронхитис, Кророва болест, улцеративен колитис, ревматоиден артритис, екдеми на кожата, невродермитис, псоријаза, како и кај бактериски и вирусни воспаленија на белите дробови. Консумацијата на ω -3 масни киселини во текот на бременоста и доењето има големо значење за растот и развојот на новороденчето. Особено е значајна консумацијата на ω -3 масни киселини кај трудниците во првите месеци од бременоста, бидејќи во тој период се развиваат мозочните структури кај ембрионот. Исто така, зголемената консумација на ω -3 масни киселини може да има превентивна улога кај пациенти со карцином на дојка, простата и дебело црево, како да се намали ризикот од појава на метастази. Антиканцерогеното дејство на ω -3 масните киселини се базира на нивниот ефект врз намалување на растот на туморски клетки и нивната мобилност. Според тоа, балансираниот внес на ω -3 масните киселини ја подобрува функцијата на нервниот, гастроинтестиналниот и имунолошкиот систем, како и на кожата, косата и ноктите.

Според истражувањата, оптималниот однос ω -6: ω -3 треба да изнесува 1:2 или 1:3 со цел да се одржи здравствената состојба на човековиот организам и затоа се препорачува консумација на повисоко количество на ω -3 масни киселини од зеленчук и морска храна. Богат извор на ALA претставуваат масло од лен (57%), маслодајна репка (8%) и соја (7%), како и зелените листови од зеленчукот. Примарен извор на EPA, DHA и други ω -3 масни киселини е морската храна, како масло од црн дроб на бакалар, скуша, лосос и сардина, како и ракови, шампи и школки.

Денес, сè уште постои широка дебата за воспоставување на оптимален однос ω -6: ω -3 масни киселини, бидејќи било проценето дека исхраната кај западната цивилизација содржи 10 до 20 пати повеќе ω -6 масни киселини во споредба со ω -3 масните киселини. Според тоа, моменталниот однос ω -6: ω -3 во исхраната има превисоки вредности и се движи помеѓу 10:1 и 20:1. Некои истражувања препорачуваат односот ω -6: ω -3 во исхраната да изнесува околу 1:1 или 2:1, меѓутоа овој однос да не се зголеми повеќе од 4:1. Според тоа, храната не треба да содржи повеќе од 4 пати повисока концентрација на ω -6 во споредба со ω -3 масните киселини.

Според јавните здравствени препораки за квалитетот на масти во исхраната, околу 2-3% од сите калории треба да се добијат од LA како ω -6 масна киселина, 1% од ALA и по 0,1% од EPA и DHA како ω -3 масна киселина. Познато е дека речиси сите здравствени проблеми се поврзани со односот ω -6: ω -3 масни киселини. Во тој контекст, високиот однос ω -6 и ω -3 може да го зголеми ризикот од појава на дијабет, гојазност, коронарни срцеви заболувања и хронични инфламаторни процеси. Оптималното функционирање на човечкиот мозок, централниот нервен систем и клеточните мембрани зависат од присуството на ω -3 масните

киселини, особено EPA и DHA. Развојот и функцијата на нервниот систем зависат од достапноста на долговерижни ω -3 масни киселини. Исто така, високиот ω -6: ω -3 однос се поврзува со промени во составот на мембранските липиди во васкуларните садови и зголемената инциденца за појава на артеросклероза и воспалителни процеси. Важно е да се напомене дека и недостатокот на ω -6 есенцијални масни киселини може да има клинички манифестации, како пореметувањето во растот, лезии на кожа, намалување на репродуктивноста и стеатоза на црниот дроб.

Препораки за внес. Денешната исхрана се состои од големо количество на заситени масни киселини и ω -6 масни киселини, а помала количина на ω -3 масни киселини. Со цел да се задоволат здравствените препораки, неопходно е да се намали внесот на заситени масни киселини и ω -6 масни киселини, а да се зголеми консумацијата на производи богати со ω -3 масни кисели. Овие промени во исхраната можат да се постигнат преку замена на храната богата со ω -6 масни киселини со храна која содржи ω -3 масни киселини, односно преку зголемена консумација на морска риба наместо пилешко, свинско или говедско месо. Овој ефект може да се постигне и со намалена исхрана со кикиритки како богат извор на ω -6 масни киселини, а зголемен внес на ореви и семе од сусам, лен и тиква кои содржат високо количество на ω -3 масни киселини. Исто така, значаен извор на ω -3 масни киселини од растително потекло е лененото масло. Познато е дека млекото и млечните производи содржат големо количество на заситени масни киселини. Исклучок е само мајчиното млеко кое содржи ниска концентрација на заситени масти, а висока концентрација на ω -3 масни киселини. Во мајчиното млеко се детекетирани ALA, EPA и DHA како ω -3 масни киселини, кои имаат значајна улога во развојот на мозокот и мрежницата кај новороденчиња.

Потребите на човековиот организам за оптимално снабдување со ω -3 масни киселини можат да се постигнат со консумирање на намјалку два obroка неделно со морска риба (сардина, скуша, лосос или бакалар). Имајќи го предвид современиот начин на живот и исхраната која не се базира на често консумирање на риба, главните препораки се користење на капсули со рибино масло во доза од 2-4 g грама дневно. Здравиот и квалитетен живот зависи и од воспоставувањето на рамнотежа во консумирањето на поединечни масни киселини. Во тој контекст се препорачува да се намали консумирањето на храна која содржи висока концентрација на арахидонска киселина како ω -6 масна киселина, како што е жолчка од јајце и црвено животинско месо. Исто така, биосинтезата на арахидонска киселина во организмот може да се намали преку консумирање на поголем број мали obroци со пониска содржина на високо калорични јаглехидрати, консумирање на храна богата со протеини, намалување на стресот и зголемена физичка активност.

Останатите масти во исхраната треба да бидат главно во форма на ω -9 масни киселини кои можат да се искористат за биосинтеза на хормони, а се наоѓаат во растителни масла од бадем, маслини, лешник, кикирики и сусам. При недостаток на овие растителни масла може да се консумираат и ω -6 масни киселини во умерени количества. Сепак, маслата кои содржат ω -6 масни киселини треба да бидат ладно цедени без термичка обработка, бидејќи рафинирањето ги конвертира незаситените масни киселини од *cis*-форма во *trans*-форма која е штетна по здравјето. Денес на пазарот се достапни голем број ладно цедени растителни масла кои не се значајно разликуваат по цената во однос на рафинираните масла. Исклучок е ладно цеденото маслиново масло (*virgin olive oil*) кое е значајно поскапо од останатите растителни масла, бидејќи маслото се екстрахира на собна температура и не содржи дополнителни хемиски адитиви.

Конјугирани линолни киселини (CLA) се изомери на LA кои се наоѓаат во месо и млечни производи. Кај тревопасните животни кои се хранат со трева, LA се конвертира во CLA и потоа се инкорпорира во ткивата и млекото на животните. Според тоа, месото, млекото и млечните производи (сирење, путер) кои се добиваат од овие животни претставуваат најбогат извор на CLA. Примарни места на дејствување на CLA во човековиот организам се адипоцитите (масни клетки), каде што се врши складирање на мастите и клетките на скелетни мускулни, каде што се врши оксидација на мастите и се добива енергија. Клиничките истражувања покажуваат дека CLA ја намалува активноста на ензимот липопротеин липаза кој е одговорен за транспорт на триглицериди од крвта во адипоцитите. Исто така, CLA стимулира липолиза, односно хидролиза на акумулираните триглицериди во адипоцитите. Според тоа, CLA влијае врз намалувањето на телесните масти преку 4 главни механизми:

1. намалување на содржината на масти кои се складираат по консумирање на храна,
2. зголемување на хидролизата на масти во адипоцитите,
3. зголемување на оксидацијата на масти во митохондриите,
4. намалување на вкупниот број на адипоцити.

Човечкиот организам нема способност за ендогена синтеза на CLA и затоа е неопходно да се внесува преку исхраната (месо, млеко и млечни производи) или преку суплементи. Во денешната исхрана се внесува значајно пониско количество на CLA, поради тоа што добитокот најчесто се храни со индустриска храна отколку со трева, ниската застапеност на црвеното месо во исхраната и честото консумирање на вегетаријански производи. Затоа, CLA треба да се внесува во организмот преку суплементи, а препорачаната дневна доза не треба да надминува 4 g.

1.4.12. Ензими

Ензимите претставуваат биолошки катализатори на хемиските реакции во живите организми кои се составени од **протеинска компонента (апоензим)** и **непротеинска компонента (коензим, кофактор)** или **простетична група**. Прехранбените производи содржат занемарливо количество на ензими, меѓутоа нивното присуство има значајна улога во биолошките системи. Ензимите во храната можат да бидат природни од самата храна или да потекнуваат од микроорганизмите. Ензимите имаат значајна улога во млекото, месото, јајцата и други прехранбени производи. Квалитетот на храната која се консумира зависи од присуството на ензимите во свежата, сировата и непреработената храна.

Хемиските реакции на трансформација на енергијата и материите во организмот претставуваат динамични процеси. При ензимски катализираните реакции учествуваат голем број минерали и витамини како кофактори или коензими. Коензимите во својата структура содржат некој **витамин (Таб. 1.18)**, а кофакторите во структурата содржат **метал**. Според тоа, минералите и витамините како есенцијални нутриенти имаат големо значење за одвивање на метаболичките процеси во организмот.

Особините на ензимите имаат важна улога во технологијата на преработка на храната и можат да имаат позитивни или негативни ефекти врз квалитетот на храната. Во свежа непреработена храна, ензимите учествуваат во различни физиолошки процеси, а нивната активност може да продолжи и за време на преработката и чувањето на храната. Во растителните ткива, ензимите ги контролираат реакциите кои се поврзани со зреењето и созревањето. По берба на плодовите на растенијата, ако ензимите не се инактивираат со

загревање или со некои хемиски агенсии, активноста на ензимите продолжува и може да предизвика нивно расипување. Дејството на ензимите може да продолжи и по угинување на животните, при што настанува согорување на мускулно ткиво и се добива месо кое е погодно за натамошна обработка. Според тоа, ензимите можат значајно да ги променат сензорните својства на храната, како арома, вкус, боја, текстура и нутритивни својства.

Табела 1.18 Прекурсори на коензими во храна.

Прекурсор во храна	Коензим
Биотин	Биоцитин
Пантотенска киселина	Коензим А
Витамин В ₁₂	Коензим В ₁₂
Рибофлавин (витамин В ₂)	Флавин аденин динуклеотид
Никотинска киселина	Никотинамид
Пиридоксин (витамин В ₆)	Пиридоксал фосфат
Фолна киселина	Тетрахидрофолат
Тиамин (витамин В ₁)	Тиамин пирофосфат

Максималната активност на ензимите зависи од оптималната температура и рН на средината. При термичка обработка на храната се уништуваат микроорганизмите и се врши инактивација на ензимите, при што се продолжува рокот на траење на производите. Важно е да се напомене дека сите ензими кои се користат во индустриското производство на храна се регистрирани и се врши строга контрола на нивната употреба. Употребата на ензими во храна за доенчиња не е дозволена поради можноста за појава на алергии. Во прехранбената индустрија најчесто се користат ензимите хидролази и некои оксидоредуктази. Ензимите имаат широка примена во индустријата за производство на шеќер при хидролиза на скроб со цел да се добие модифициран скроб, декстрини, глукоза и фруктоза.

Ензими во млеко и млечни производи. Во млекото се потврдени околу 60 различни ензими од ендогено и егзогено потекло. Ендогените ензими потекнуваат од млечните жлезди на животните, а егзогените ензими потекнуваат од микроорганизмите. Најзначајни ензими во млекото се: **липази, фосфатази, алкална фосфатаза, пероксидази, каталази, редуктази** и други. При термичка обработка на млекото најчесто се намалува активноста на ензимите, а температурата на инактивација зависи од типот на ензим. Температурата на пастеризација на млекото (72°C) предизвикува инактивирање на поголем дел од ензимите. Некои ензими можат да се активираат во кисела средина како што се ензимите на квасци, а други ензими се активираат во базна средина. Бактериски ензими најчесто се активни при природната рН вредност на млекото (рН 6-8). Ензимите можат да предизвикаат значајни промени во составот на млекото преку катализирање на липолитички и протеолитички реакции, при што може да се наруши сензорниот квалитет на млекото. Присуството на бројни ензими може да претставува индикатор за слаб квалитет на сировото млекото, а присуството на поединечни ензими по термичка обработка на млекото може да биде индикатор за ефикасноста на пастеризацијата. Културите од микроорганизми и ензимите имаат широка примена во производството на различни млечни производи.

Сирењето се произведува со помош на традиционалниот комплекс од ензими кој се нарекува **сириште** и се добива од желудникот на добиток и други тревопасни животни. Главна компонента на сириштето е ензимот **химозин**, кој претставува протеаза за

засирување на казеинот од млекото. Денес, сириштето во млечната индустрија е заменето со различни коагуланти од микробно или растително потекло, како и ензимски “мешавини” составени од повеќе ензими за да се забрза процесот на созревање на сирењето. Овие ензимски мешавини се достапни во комерцијална форма и содржат голем број на хидролази, како што се протеинази, пептидази и липази.

Ензими во јајца. Најпознат ензим во јајцата е **лизозимот** кој уште е познат и како “антибиотик на телото” поради неговата висока антибактериска активност. Денес, лизозимот се користи како додаток во детската храна со цел да се спречи прекумерен раст на микрофлората. Освен во јајцата, лизозимот е присутен и во различни секрети од организмот, како солзите, плунката, мајчиното млеко и мукусот од мукозните мембрани (**Таб. 1.19**). Лизозимот претставува гликозидна хидролаза кој катализира хидролиза на β -1,4-гликозидните врски од пептидогlukanскиот клеточен сид на бактериите. Лизозимот е стабилен протеин во кисели раствори и може да ја одржи својата активност дури и по 1-2 мин. загревање на температура од 100°C. Антибактериското дејство на лизозимот има голема примена во фармацевтската индустрија за производство на капки за очи, млечната индустрија за инхибиција на ензими при производство на сирење, како и во земјоделството за производство на препарати за третман на зеленчукот против бактериски инфекции.

Табела 1.19 Природни ензими во храната како биолошки активни компоненти.

Ензим	Извор	Физиолошко дејство
Папаин	Папаја	Протеаза за хидролиза на протеини при дигестија на храна
Фицин	Смокви	
Беромелаин	Ананас	
Лизозим	Јајца, млеко	Конзерванс со антибактериско дејство
Муцин	Јајца, млеко	Антибактериско соединение

Покрај лизозим, белката од јајце содржи и други ензими. Кај неоплодени јајца од кокошка се идентификувани околу 30 вида на метаболички активни ензими, како каталаза, гликозидази, фосфатази, рибонуклеази, пируват кинази и други гликолитички ензими.

Во храната се присутни различни групи на ензими, како што е **бромелаин** во ананас, **папаин** од папаја, **фицин** од смоква и **лизозим** во јајца и млеко (**Таб. 1.19**). Широка примена како додатоци во исхраната имаат бромелаин, пепсин и трипсин. Според некои истражувања, правилната употреба на ензими во исхраната го забавува процесот на стареење. Исто така, во храната се присутни и различни природни соединенија кои ја намалуваат активноста на метаболичките процеси во организмот и овие компоненти се познати како **ензимски инхибитори**. Инхибиторите на ензимите најчесто претставуваат антинутриенти бидејќи интерферираат во нормалниот метаболизам на некои нутритивни соединенија во организмот. Механизмот на дејство на ензимските инхибитори се базира на врзување за ензимите и инхибирање на нивната активност. Ензимските инхибитори најчесто се застапени во мали концентрации во соја, пченица, компир, леќа, репка, кикиритки и домат. Инхибиторите на ензими можат да имаат различна хемиска структура, а најчесто се протеини кои имаат способност за инхибиција на протеази, амилази, холинестерази и други ензими. Од друга страна пак, некои ензимски инхибитори имаат фармаколошка активност, бидејќи учествуваат во инхибиција на некои ензими кои се поврзани со некои метаболички нарушувања, како депресија, невродегенеративни

заболувања, дијабет, инфламаторни процеси, хиперхолестеролемија, стареење и други патолошки процеси. Така на пр., алкалоидот физостигмин е инхибитор на ензимите ацетилхолинестераза и бутирилхолинестераза кои учествуваат во хидролиза на невротрансмитерите во мозочното ткиво и се користи за третман на Алцхајмерова болест.

1.4.13. Пребиотици и пробиотици

Пребиотиците се живи бактерии и нивни метаболити кои имаат повољно влијание врз здравјето на луѓето, бидејќи ја обновуваат микрофлората во дигестивниот систем. Карактеристичен пример на пробиотик е јогуртот. Консумирањето на јогурт со ниска масленост има повољно влијание кај дијареа, намалувањето на содржината на холестерол во крвта и стимулирањето на имуниот систем (Таб. 1.20).

Табела 1.20 Природни извори и физиолошко дејство на пробиотици и пребиотици во храна.

Пребиотици и пробиотици	Извор	Физиолошко дејство
Пребиотици: инулин, фрукто- олигосахариди и полидекстроза	Лук, овошје, мед и житарици	Подобрување на функција на гастроинтестинален систем и апсорпција
Пробиотици: лактобацили и бифидобактерии	Јогурт, кефир, сурутка и микробни култури	на калциум, активирање на имун систем

Пребиотиците се нехидролизирачки влакнести соединенија од растително потекло кои се познати под името фрукто-олигосахариди и се користат за развој на бактериската микрофлора во дигестивниот систем. Всушност, лактобацилите и бифидобактериите од микрофлората во дебелото црево ги ферментираат олигосахаридите како пребиотици, при што се ослободуваат биолошки активни масни киселини со кратки синџири. Во човековиот организам пребиотиците за прв пат се консумираат во форма на галактоолигосахариди од мајчиното млеко. Консумацијата на овие пребиотици го штитат организмот од патогени бактерии и го стимулираат имунолошкиот систем (Таб. 1.20). Пробиотиците, пребиотиците или нивното комбинирање како **симбиотици** можат да се користат како додатоци во исхрана или во форма на конвенционални прехранбени производи.

1.5 БИОЛОШКИ АКТИВНИ СОЕДИНЕНИЈА ВО РАЗЛИЧНИ ВИДОВИ НА ХРАНА

Храната може да содржи голем број различни биолошки активни компоненти. Четири главни групи на храна се: месо, млеко, овошје и зеленчук и житарици. Храната и прехранбените производи кои најчесто се консумираат од страна на човекот се:

- Млеко и млечни производи,
- Јајца и производи од јајца,
- Месо и месни производи,
- Житарици и житни производи,
- Зеленчук, габи и нивни производи,
- Овошје и овошни производи,
- Шеќер, мед, пчелини производи и други природни засладувачи,
- Масти, масла и производи на масти и масла,
- Сол, зачини и адитиви,
- Храна со потекло од микроорганизми,
- Стимуланси и пијалоци (кафе, чај, какао, тутун и алкохолни пијалоци),
- Диетални производи за исхрана на деца, дијабетичари и постари индивидуи,
- Вода за пиење.

Нутритивните својства на храната зависат од хемиски состав, односно содржината и типот на макронутриенти, микронутриенти и биолошки активни соединенија. Врз база на хемискиот состав на нутритивните соединенија, храната може да биде протеинско-липидна, протеинско-јаглезехидратна, јаглезехидратна и липидна храна (Сл. 1.24).



Слика 1.24 Класификација на храната според хемиски состав.

1.5.1. Млеко и млечни производи

Функционални млечни производи со биолошки активни компоненти се: **колострум, сурутка и пробиотици.**

Колострумот е првата форма на млеко кое се секретира од млечните жлезди на жените веднаш по раѓањето на новороденче. Всушност, колострумот е карактеристичен пример за функционална храна и додаток во исхрана. Главни биолошки активни компоненти во колострумот се **имуноглобулини, слободни аминокиселини и нуклеотиди** кои не се присутни во обичното млеко. Обичното млеко содржи различни незаситени масни киселини (конјугирана линоленска киселина), дисахарид лактоза и пробиотици за одржување на нормалната флора во гастроинтестиналниот тракт. Според составот, колострумот претставува природен концентрат на хранливи и одбранбени соединенија (имуноглобулини) и фактори на раст.

Колострумот бил користен уште од старите Египќани при инфекција на очите, а во САД се користел како антибактериско средство пред да се открие пеницилинот и другите антибиотици. Денес постојат бројни научни и клинички студии за здравствената придобивка од колострумот. Во науката, колострум е познат како најефикасен природен имуностимулатор, бидејќи претставува богат извор на имуофактори и нутриенти. Колострумот содржи голем број непротеински јаглеродни соединенија, како што се уреа, креатин, креатинин, глукозамин, слободни аминокиселини (таурин и глутаминска киселина), карнитин, нуклеински киселини и нуклеотиди.

Главни имунолошки компоненти на колострумот се **имуноглобулините**, кои имаат значајна улога во неутрализација на токсини, вируси и бактерии. Исто така, колострумот содржи и други неспецифични антимикробни и имуностимулирачки соединенија, како **лактоферин, лизозим, лактопероксидаза и леукоцити**. Лактоферинот и имуноглобулин G (IgG) се главни гликопротеини кои се присутни во препарати на сурутка добиена од колострум. Лактоферинот е гликопротеин кој се синтетизира во млечните жлезди и има способност за врзување на железото. Лактоферинот и неговите деривати имаат широк спектар на бактериостатско, бактерицидно и антивирусно дејство, а можат да учествуваат и во модулирање на инфламаторните процеси во организмот. Лактопероксидазата е ефикасен антимикробен ензим кој го заштитува млекото од расипување. Лизозимот е антимикробно соединение од колострумот и млекото кое има значајно влијание врз интестиналната бактериска флора кај новороденчињата. Леукоцитите се составен дел од хуманиот и кравјот колострум кои имаат значајна улога во заштита на млечните жлезди од патогени микроорганизми, а можат да ја подобрат одбраната на новороденчето од гастроинтестинални инфекции.

Колострумот содржи голем број фактори кои влијаат врз растот и размножувањето на клетките, како **епидермален фактор на раст (EGF), фиброблатен фактор на раст (FGF), инсулински фактор на раст 1 и 2 (IGF-1 и IGF-2), тромбоцитен фактор на раст (PDGF) и трансформиращки фактори на раст (TGF α и β)**. Овие фактори го стимулираат растот на клетките во коските, мускулното ткиво, нервите и рскавицата. Исто така, колострумот содржи и L-карнитин како транспортен протеин кој учествува во оксидација на долговерижните масни киселини во митохондриите и обезбедување на енергија во мускулите.

Колострумот од крава се произведува за комерцијални цели со помош на специјални постапки и софистицирана технологија. Висококвалитетен колострум се добива само од добиток кој се одгледува на фарми во кои не се употребуваат пестициди, антибиотици, хормони и кои задолжително поседуваат сертификати за биопроизводство и ослободеност од кравјо беснило. При постапката за производство, колострум најпрвин се ослободува од масти и казеин, а потоа се концентрира преку сушење или замрзнување. Колострумот може

да се произведе и од хиперимунизирани крави кои се вакцинирани со одреден антиген со потекло од патогени микроорганизми за време на почетокот од бременост. Колострумот од хиперимунизирано млеко може да се користи за лечење или превенција од инфекции на дигестивниот тракт. Исто така, колострумот од хиперимунизирано млеко може да се користи за производство на имуноглобулини, лактопероксидаза и лактоферин.

Сурутката се користела во исхраната на луѓето уште од праисториско време кога започнале првите припитомувања на домашните животни. Сурутката претставува течност која се добива при засирување на млекото и започнала да се користи од страна на човекот уште со производството на сирење. Грчкиот лекар Хипократ ја препорачувал сурутката во терапии на туберкулоза, жолтица, болести на кожата, дигестивни нарушувања, а во изминатите неколку века била користена за лекување на дијареа, дизентерија и некои труења со храна. На балканските простори, сурутката најчесто се користела за исхрана на добитокот, а луѓето од руралните подрачја главно ја користеле како меѓуоброк.

Нутритивниот квалитет на сурутката се базира на присуството на високорасположиви компоненти кои лесно се апсорбираат и стануваат достапни за сите органи, при што се надополнуваат недостатоците од аминокиселини, витамини и минерали. Во тој контекст, нутриентите од сурутката подлежат на многу брза дигестија, ресорпција и дистрибуција во човековиот организам. Високата биорасположивост на компонентите од сурутката се должи на ниската рН вредност на сурутката и присуството на мали молекули на протеини и јаглехидрати, како и ниската содржина на липиди. Според калоричните вредности, 1 L сурутка има 350-370 kcal, што претставува двојно пониска енергетска вредност од свежото млеко. Според тоа, сурутката се смета како диететски производ и функционална храна со физиолошко дејство врз гастроинтестиналниот систем, црниот дроб и другите органи. Денес, сурутката се користи за производство на сурутка во прав, изолирани протеини од сурутка и освежителни пијалоци.

Сурутката се добива при засирување на млекото од крупен или ситен добиток при процесот на производство на сирење. Сурутката го претставува течниот остаток кој преостанува при згрутчување на млекото и ги содржи сите растворливи компоненти од млекото. Во тој контекст, сурутката содржи голем број биорасположиви соединенија кои се растворливи во вода (протеини, слободни аминокиселини, ензими и минерали во хелатирана форма). Сурутката се добива на традиционален начин според добро воспоставена постапка. За време на ферментирање на млекото на собна температура, млечниот шеќер (лактоза) се оксидира до млечна киселина, а казеинот се одвојува од сурутката. Формираниот масен дел на површината на закиселеното млеко претставува павлака која подоцна се отстранува. Преостанатото кисело млеко се загрева и настанува коагулација на протеините и раздвојување на сирењето од сурутката. По завршување на процесот на засирување, сурутката се одвојува од сирењето преку цедење.

При индустриско производство на сирење, коагулацијата на млекото може да се забрза со користење на киселини (лимонска киселина), ензими или засирувачи. Зависно од постапката за добивање и средствата за коагулација на казеинот од млекото, свежата сурутка може да биде слатка и кисела. **Слатката сурутка** се добива при производство на тврди сирења како што се кашкавал и швајцарско сирење, а **кисела сурутка** се добива при производство на свежо кравјо сирење. Киселата сурутка е повкусна и постабилна од слатката сурутка и содржи помало количество на лактоза и млечни масти (Таб. 1.21). Од 10 L млеко се добива околу 1 kg сирење и 9 L сурутка.

Табела 1.21 Хемиски состав на слатка и кисела сурутка.

Компонента (%)	Слатка сурутка	Кисела сурутка
Вода	93-94	94-95
Сува материја	6-6,5	5-6
Лактоза	4-5,5	3,8-4,3
Млечна киселина	траги	< 0,8
Вкупни протеини	0,8-1,0	0,8-1,0
Протеини на сурутка	0,6-0,65	0,6-0,65
Лимонска киселина	0,1	0,1
Минерали	0,5-0,7	0,5-0,7
pH	6,2-6,4	4,6-5,0

Од сурутката се добиваат 3 основни производи кои се користат во исхраната: **сурутка во прав, протеинска сурутка и шеќер лактоза**. Сурутката во прав се добива со отстранување на водата од свежата сурутка и се разликуваат слатка (pH 5,6) и кисела (pH 5,1) сурутка, деминерализирана сурутка во прав и сурутка во прав без лактоза. Сурутката во прав се користи како адитив при производство на колбаси, супа, пекарски производи, сирења и намази. Деминерализираната сурутка и сурутката без лактоза се користат во производство на детска храна. Протеинската сурутка се добива со сепарација и концентрирање на протеините од течната сурутка преку постапки на мембранска филтрација (микрофилтрација, ултрафилтрација, нанофилтрација и јонска измена). Методот на ултрафилтрација овозможува добивање на протеински изолат кој содржи 80% од протеините во сурутката, а со процесот на јонска измена се добива протеински изолат со 90% протеини. Постапката на јонска измена ги отстранува биолошките активни фракции, како што се имуноглобулини, β -лактоглобулин и лактоферин. Со примена на микро или нанофилтрација се добиваат протеински изолати на сурутката со 90-94% чистота, кои ги содржат биолошки активните фракции. Протеинските изолати на сурутката имаат широка примена во исхраната на спортисти за зголемување на мускулната маса и репарација на повредените мускули. Протеините на сурутката се користат и во производство на детски препарати и во случаи на пречувствителност на казеин. Истражувањата кај возрасни индивидуи покажуваат дека исхраната со сурутка овозможува развиток на цревна микрофлора која е слична со флората кај деца кои се хранат со мајчино млеко. Исто така, претклиничките истражувања кај глупци покажуваат дека протеините од сурутката можат да имаат анти-инфламаторно и антиканцерогено дејство.

Сурутката се користи и за производство на лактоза која има примена во фармацевтската индустрија како важен експипенс (секоја супстанција во лековите која нема биолошка активност), како и во производство на лекови како што е лактулозата (неапсорбирачки шеќер). Во прехранбената индустрија од лактоза се добива алкохол, млечна киселина и оцетна киселина. Во детската храна, лактозата го надополнува овој млечен шеќер во мајчиното млеко. Исто така, лактозата има поволно влијание кај индивидуи од рурални области кои извршуваат тешки физички активности, како и кај спортисти и бодибилдери.

Покрај свежата кисела сурутка достапни се и различни производи како слатки и пастеризирани пијалоци од сурутка кои можат да бидат збогатени со концентрати од овошје

или зеленчук. Слатката сурутка може да се користи и за производство на алкохолни пијалоци, како што се пиво или вино од сурутка. Сурутката се користи и како супстрат во различни биотехнолошки процеси, како што е култивирањето на квасци за продукција на биомаса, како и во производството на антибиотици и конзервирање на храна.

Во народна медицина, свежата сурутката се користи како универзален лек во количини од 1-1,5 L дневно за третман на уремија, анемија, артритис, гихт, болести на црниот дроб, туберкулоза, дијареа, труење, како и дигестивни заболувања. Сурутката е ефикасен природен лек за обновување на функцијата на црниот дроб и затоа се користи кај индивидуите кои се лечат од алкохолизам. Исто така, лековитото дејство на сурутката се базира на присуството на ефикасни антиоксидантни соединенија кои во човековиот организам индуцираат синтеза на ендогени антиоксиданти. Хемискиот состав на сурутката зависи од постапката на производство, квалитетот и типот на млекото. Најголем дел од сурутката е вода (93-94%), а остатокот е претставен со сува материја која ја сочинуваат протеини, јаглехидрати (лактоза), витамини и минерали (Таб. 1.21).

Протеини на сурутка. Најзначајна компонента во сурутката се протеините кои значајно се разликуваат според карактеристиките и физиолошкото дејство од казеинот во свежото млеко. Протеините во свежото млеко се состојат од 80% казеин и 20% протеини на сурутката. Важно е да се напомене дека мајчиното млеко има сличен состав на протеини и нутритивни својства како и сурутката. Сепак, некои протеински компоненти во сурутката не се присутни во мајчиното млеко. Протеините на сурутката се составени од аминокиселини со кратки синцири кои брзо се искористуваат откако ќе се внесат во организмот. Биолошката вредност на протеините претставува мерка за апсорбираниот протеин од храната кој се инкорпорира во протеините на организмот. Во тој контекст, биолошката вредност на протеините на сурутката е приближно 100, а биолошката вредност на казеинот од млекото изнесува 77. Во групата на протеини на сурутката се вбројуваат: **β -лактоглобулини, α -лактоалбумини, имуноглобулини, лактоферини, серумски албумин, гликомакропептиди, слободни аминокиселини, антиоксиданти, ензими и др.**

β -Лактоглобулините опфаќаат речиси 50% од вкупните протеини на сурутката од кравјо млеко. Овие глобуларни протеини претставуваат богат извор на есенцијални аминокиселини и аминокиселини со разгранети синцири. β -Лактоглобулинот учествува во транспортот на голем број липофилни молекули и има одбранбена улога од патогени организми поради способноста за врзување на железото. Важно е да се напомене дека мајчиното млеко не содржи β -лактоглобулини.

α -Лакталбуминот е протеин кој е присутен во мајчиното и кравјото млеко и опфаќа околу 20-25% од протеините на сурутката. Овој протеин е составен од есенцијални аминокиселини и аминокиселини со разгранети синцири. Прочистен α -лакталбумин се користи во производство на млеко за доенчиња, поради тоа што има сличен протеински профил со мајчиното млеко. Сепак, високите трошоци за добивање на прочистен α -лакталбумин е главна причина за користење на деминерализирана сурутка со висока содржина на β -лактоглобулини во производството на млеко за доенчиња.

Во протеинската фракција на сурутката се застапени и **специфични антитела (имуноглобулини)**, кои имаат значајна улога во имунолошкиот систем за врзување и неутрализација на антигени. Имуноглобулините опфаќаат околу 10-15% од вкупните протеини во сурутката. Истражувања покажуваат дека сировото млеко од неимунизирани крави содржи антитела специфични за хуман rotavirus, како и за бактериите *Escherichia*, *Salmonella* и *Shigella*.

Серумскиот албумин е протеин кој се синтезира во црниот дроб и преку циркулацијата се пренесува во млекото. Овој протеин е присутен во мајчиното и кравјото млеко и опфаќа 10-15% од вкупните протеини. Внесот на серумскиот албумин од млеко претставува извор на големо количество на аминокиселини кои можат да се искористат за синтезата на различни протеини во човечкиот организам. На сличен начин како и албумините од крвната плазма, серумскиот албумин од млекото учествува во транспорт на минералите цинк, бакар и хормонот на тироидната жлезда тироксин. Познато е дека синтезата на албумини во човековиот организам може да настане при болести на црниот дроб и бубрезите, гладување и при изгореници. Затоа, консумирањето на албумините од сурутката може значајно да влијае врз голем број физиолошки процеси во организмот.

Лактоферинот како железо-врзувачки гликопротеин претставува неензимски антиоксидант кој се наоѓа во сурутката и мајчиното млеко. Според аминокиселинскиот состав, лактоферинот од сурутката е сличен со хуманиот лактоферин. Истражувањата покажуваат дека лактоферинот учествува во имунолошките реакции поради неговата способност за активирање на природните клетки убијци и неутрофили. Исто така, лактоферинот поседува антивирусно, антифунгално и антибактериско дејство. Антимикробниот ефект на лактоферинот се базира на способноста за хелатирање на железото кај микроорганизмите кои го користат овој метал во своите метаболички процеси. Антибиотското дејство на лактоферинот се должи на ослободувањето на липополисахариди од надворешната мембрана на Gram-негативните бактерии.

Гликомакропептид е пептид кој е присутен во сурутката во количина од 10-15% и настанува како резултат на активноста на протеазата **химозин** врз казеинот за време на засирување на млекото. Овој пептид е составен од високо разгранет синцир на аминокиселини, кој не содржи ароматични аминокиселини (фенилаланин, триптофан и тирозин). Гликомакропептидот е редок природен протеин кој не содржи фенилаланин и затоа е безбеден за употреба кај индивидуи со фенилкетонурија.

Протеините на сурутката ги содржат сите есенцијални аминокиселини во повисока концентрација во споредба со другите протеини од растително потекло, како соја, пченка и пченичен глутен (**Таб. 1.22**). Во споредба со другите извори на протеини, сурутката се карактеризира со висока концентрација на **аминокиселини со разгранети синцири** (леуцин, изолеуцин и валин). Овие аминокиселини имаат значајна улога во растот на клетките и регенерација на ткивата. Исто така, протеините на сурутката се богати со **аминокиселините цистеин и метионин кои содржат сулфур**. Присуството на овие аминокиселини има големо значење во антиоксидантниот систем поради интрацелуларната синтеза на глутатион како антиоксидант. Високата биолошка вредност на протеините на сурутката во однос на протеините на млекото се должи на високата содржина на аминокиселините лизин, цистеин и метионин. За оптимално искористување на протеините во организмот особено е значаен односот на аминокиселините цистеин и метионин. Во тој контекст, односот на цистеин и метионин кај протеините на сурутката е 10 пати повисок отколку односот на овие аминокиселини во казеинот. Сурутката ја содржи и аминокиселината таурин (2-аминоетансулфонска киселина) која го зголемува волуменот на мускулни клетки.

Антиоксидантното дејство на сурутката се базира на високата содржина и биоискористеноста на аминокиселината цистеин која учествува во синтезата на глутатион (GSH) како ефикасен хидрофилен и интрацелуларен антиоксидант. Глутатионот е трипептид составен од аминокиселините глицин, глутаминска киселина и цистеин.

Аминокиселината цистеин содржи тиолна (-SH) група која ги спречува реакциите на оксидација во клетките и оштетувањата во ткивата. Глутатионот покажува антиоксидантно дејство само во редуцирана форма. Кофакторите рибофлавин и ниацинамид, како и ензимот глутатион редуктаза овозможуваат одржување на глутатионот во редуцирана форма. Исто така, аминокиселината цистеин учествува во синтезата на глутатион пероксидаза (GPx) кој претставува антиоксидантен ензим за неутрализација на липидните пероксиди во помалку реактивни соединенија.

Сурутката е богата со различни **ензими** од групата на хидролази, трансферази, лијази, протеази и липази. Лактопероксидаза е важен ензим кој е застапен околу 0,25-0,5% од вкупните протеини на сурутката. Овој ензим катализира редукција на H_2O_2 , пероксидација на тиоцијанати и некои халогени молекули (јод и бром), а како крајни производи се формираат некои соединенија кои имаат инхибиторен ефект врз голем број бактериски видови. Лактопероксидазите се стабилни протеини во сурутката кои имаат улога на конзерванси, бидејќи не се инактивираат за време на процесот на пастеризација.

Табела 1.22 Содржина на аминокиселини со разгранети синцири кај различни протеини.

Вид на протеини	Содржина на аминокиселини (%)
Протеински изолат од сурутка	26
Казеин	23
Млечни протеини	21
Протеин од јајца	20
Мускулни протеини	18
Протеински изолат од соја	18
Протеини од пченица	15

Содржината на **слободни аминокиселини** во киселата сурутка е околу 10 пати повисока во споредба со млекото. Аминокиселините со разгранет синцир кои се присутни во сурутката имаат значајна улога во градбата на мускулите. Всушност, исхраната со сурутка обезбедува соодветни аминокиселини кои се неопходни за синтеза на протеини во мускулното ткиво. Исто така, сурутката содржи висока содржина на глутамин, која претставува најзастапена слободна аминокиселина во организмот и лесно може да се конвертира во глукоза. Ако не се внесуваат доволни количества на глутамин преку исхраната, организмот ја искористува оваа аминокиселина од мускулното ткиво, што може да предизвика загуба на мускулна маса. Консумација на протеините на сурутката даваат чувство на заситеност, бидејќи ја зголемуваат содржината на хормони кои се супресори на апетитот. Постојат претпоставки дека протеините на сурутката имаат поволно дејство врз состојбата на стрес и депресија преку намалување на содржината на кортизол и зголемување на содржината на серотонин. Истражувањата покажуваат дека протеините на сурутката имаат позитивно влијание при лечење на атеросклероза, цистична фиброза, Алцхајмерова и Паркинсонова болест, како и рак на дојка и дебело црево. Имуномодулаторното дејство на протеините на сурутката е основа за нивно користење во исхраната на индивидуи заболени од сида и кај пациенти кои се на третман со радиотерапија и хемотерапија.

Јаглехидрати во сурутка. При производството на сирење, во сурутката се задржуваат сите јаглехидрати кои потекнуваат од млекото, како што се **лактоза, глукоза, галактоза, олигосахариди** и **аминошеќери**. Лактозата е значајна компонента од сурутката која се користи за производство на храна за доенчиња, бидејќи претставува првиот јаглехидрат кој го консумира човекот преку мајчиното млеко. Исто така, консумацијата на лактоза се препорачува кај дијабетичари поради нејзиното пролонгирано дејство во однос на зголемувањето на гликемијата во крвта. Лактозата има лаксативно дејство, овозможува побрза регенерација на ткивата и го забавува процесот на атеросклероза.

Минерали во сурутка. При засирување на млекото, во сурутката се задржуваат речиси сите растворливи соли и микроелементи од млекото, како и солите кои се додаваат при производството на сирење. Минералите во сурутка се наоѓаат во форма на хелати и затоа се карактеризираат со висока биорасположивост. Односот на калиумот и натриумот кај сурутката изнесува 3:1, што е особено значајно за индивидуи со зголемен крвен притисок. Исто така, сурутка е богата со калциум, фосфати, хлориди, калиум, магнезиум, а содржи и натриум, железо, бакар, цинк, кобалт и манган. Консумацијата на минералните елементи од сурутката има позитивно влијание врз одржување на тонусот на клетките, како и спречување на појава на мозочен удар и инфаркт.

Витамини во сурутка. Сурутката содржи висока концентрација на хидросолубилни витамини (В-комплекс и витамин С), а содржината на липосолубилните витамини зависи од количината на масти која се задржува во сурутката при производството на сирење. Се смета дека 1 L на сурутка може да ги задоволи дневните потреби кај возрасни индивидуи за витамините од В-комплексот, кои главно претставуваат коензими во бројни метаболички процеси во човековиот организам. Исто така, сурутката содржи лактофлавин (рибофлавин) кој е одговорен за зелено-жолтата боја и претставува важен кофактор за синтеза на редуцираната форма на глутатионот.

Здравствената безбедност на сурутката зависи од хигиенско-санитарните услови при производството на млеко. Големо значење има здравствената исправност на добиточната храна (без пестициди и микотоксини) и добитокот од кое се добива млекото (да не биде третирано со ветеринарски лекови). Исто така, особено се важни хигиенските услови на просторот во кој се одгледува животното, како и хигиената на фармерите, садовите и транспортните средства. Сепак, хигиенски произведена сурутка лесно подлежи на расипување. Слатката сурутка е подложна на бактериско расипување поради тоа што бактериите не се размножуваат во кисела средина, а киселата сурутка лесно се расипува под дејство на квасци. Пастеризацијата и асептичките услови на пакување можат да го продолжат рокот на траење на сурутката. Пастеризацијата на сурутката овозможува уништување на големи популации на бактериите *Brucella*, а истовремено се деградираат хидросолубилните витамини и се денатурираат повеќето ензими.

1.5.2 Јајца и производи од јајца

Белките од јајце имаат 100% протеински состав, а жолчките имаат липопротеинска природа составена од **овоглобулини, овотрансферин** и **овомуцин**. Белката од јајцето претставуваат идеален извор на протеини кои се карактеризираат со висока биолошка вредност поради присуството на есенцијални аминокиселини. Исто така, јајцата содржат бројни ензими како што се **муцин** и **лизозим**, како и **фосфолипиди (лецитин)**.

1.5.3 Месо и месни производи

Месото кое се користи во исхраната може да потекнува од:

- домашни животни (крупен и ситен добиток, живина),
- диви животни (срна, зајак, свиња, мечка, птици грабливки),
- риби, ракови, школки, жаби, морски плодови и преработени производи чие месо не е отровно или отровот се отстранува со соодветна постапка,
- полжави и останати животни (инсекти и скакулци).

Месото содржи висококвалитетни протеини кои се составени од есенцијални аминокиселини (валин, леуцин, изолеуцин, фенилаланин, метионин, лизин, треонин и триптофан). Во мускулните влакна на животните се присутни голем број слободни аминокиселини, како глутамин, глутаминска киселина, аспарагинска киселина и аланин. Карактеристични протеини во месото се: **актин**, **миозин**, **колаген** и **еластин**. Од овие протеини во месото, миозинот има најголема способност за врзување на вода поради високата застапеност на моноамино-дикарбоксилни аминокиселини (глутаминска киселина и аспарагинска киселина) и диамино-монокарбоксилната аминокиселина лизин. Од друга страна пак, актинот, колагенот и еластинот имаат ниска способност за врзување на вода поради високиот масен удел на аминокиселината пролин. Важно е да се напомене дека колагенот ги содржи аминокиселините хидроксипролин и хидроксизин кои ретко се застапени во структурата на протеините.

Различните видови на месо имаат специфичен профил на биоактивни соединенија. Сепак, сите видови на месо се карактеризираат со присуство на железо и витамин А, како и висока содржина на холестерол во црниот дроб. Белото пилешко месо содржи есенцијални аминокиселини, особено триптофан и ниска содржина на масти. Особено значаен протеин во месото е **карнитинот** кој претставува градбено соединение и се користи во исхраната на спортистите. Месото од риба има особено значење од аспект на присуството на биолошки активни соединенија. Морските риби како скуша, туна и лосос се богати со ω -3 масни киселини кои спаѓаат во групата на есенцијални незаситени масни киселини. Консумацијата на ω -3 масните киселини има големо значење при спречување на болести на кардиоваскуларниот систем и намалување на содржината на холестерол во крвта.

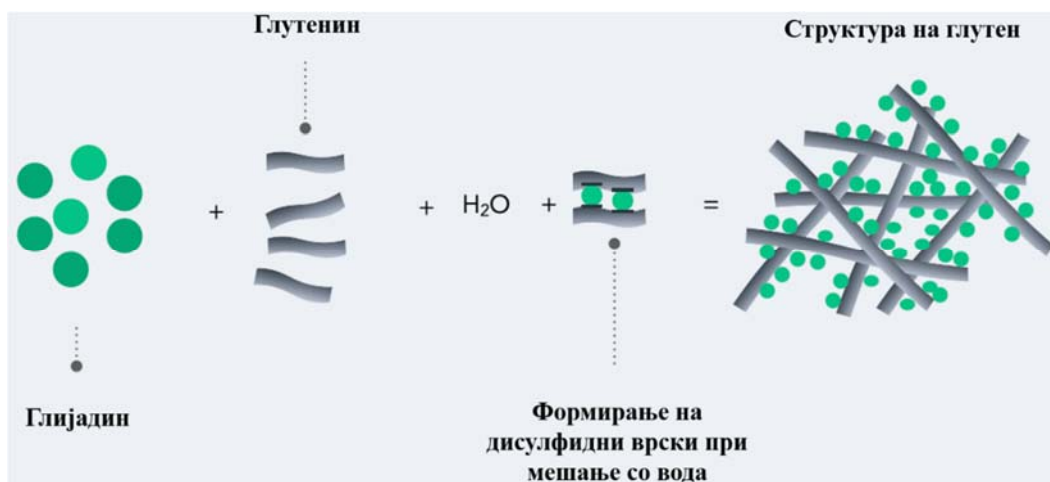
1.5.4 Житарици и житни производи

Особено значајни биоактивни компоненти кај житариците кои имаат поволно влијание врз здравјето на човекот се сировите растителни влакна. При преработка и рафинирање на житариците се отстранува нивната површинска обвивка која ги содржи сировите растителни влакна како најзначајна биоактивна компонента. Истражувањата покажуваат дека консумацијата на дневни оброци богати со растителни влакна е во корелација со здравствениот статус на организмот. Така на пр., консумацијата на сировите растителни влакна влијае врз спречување на опстипација, намалување на содржината на холестерол во крв, елиминирање на токсини од организмот и намалување на ризик од појава на рак. Според тоа, житариците се составен дел од секојдневната исхрана на човекот и најчесто се користат во исхраната во форма на леб, тестенини и житарици за појадок.

Врз база на аминокиселинскиот состав, протеините на житариците не содржат лизин и затоа се препорачува нивно консумирање во комбинација со производи кои ја содржат оваа есенцијална аминокиселина во доволни количества (млеко, јогурт). Исто така, житариците

се карактеризираат со висока концентрација на минералите железо и калциум. Така на пр., индискиот орев содржи 344 mg калциум/100 g, што е значајно повисока вредност во споредба со млекото и семето од сусам. Житариците се главен извор на дневни потреби на витамини од В комплексот и затоа се препорачува консумирање на црн леб кој се добива од полното зрно на пченицата. Исто така, отстранувањето на лушпата при рафинирањето на оризот го елиминира единствениот извор на В-витамините. Главен нутритивен недостаток на житариците е отсуството на витаминот А и витаминот С и затоа се препорачува дополнително внесување на зеленчук и цитрусни плодови во исхраната.

Главни протеини во житариците се: **албумини, глобулини, проламини и глутелини**. Растворливите протеини во пченицата се албумини (растворливи во вода), глобулини (растворливи во 10% воден раствор на NaCl) и проламини (растворливи во 60-80% етанол) и опфаќаат 13-22% од вкупната содржина на протеини. Нерастворливите протеини во пченицата се **глијадинот** и **глутенинот** кои се познати под заедничкиот термин **глутен** и можат да опфаќаат од 34-50% од вкупните протеини во пченицата.



Слика 1.25 Структура на глутен.

Глутенот е карактеристична протеинска компонента на пченицата која е составена од нерастворливите протеини глијадин и глутенин (Сл. 1.25). Во присуство на вода, овие протеини формираат еластична и пластична маса позната како „лепило“. Поради формирањето на интермолекуларните врски помеѓу овие протеини, скробните гранули и ослободениот јаглерод диоксид се „заробуваат“ во структурата на глутен од тестото кое подоцна започнува да расте. Поради овие карактеристики, глутенот има широка примена во прехранбената индустрија. Денес, прехранбената индустрија се фокусира кон производство на храна без глутен поради intolerанцијата на глутен кај некои индивидуи кои не можат да консумираат производи кои содржат пченица, рж и јачмен. Основата на оваа intolerанција се базира на активирање на имунолошки реакции кај индивидуите како резултат на ингестија на производи кои содржат глутен.

Мастите се застапени најчесто во ‘ркулците од житарици. Висока содржина на масти се наоѓа во ‘ркулците од пченка (30-35%), овес (25%), просо (20%), рж и пченица (13-15%), а најниска содржина има во јачмен (10-12%). Семето од житарици претставува богат извор на целулоза. Брашното добиено при мелење на целото зрно од житариците содржи висок процент на целулоза, минерали (фосфор, калиум, магнезиум, калциум, сулфур, натриум и

железо), витамини (провитамин А, витамин Е, витамин К и В-комплекс) и други нутритивни компоненти. Во традиционалната исхрана, овесот е висококвалитетна житарица која позитивно влијае врз намалување на LDL холестеролот, гликемијата во крвта, како и врз зајакнување на мускулната маса кај возрасните индивидуи. Исто така, присуството на растворливите влакна од β -глюкани во производите од овес има терапевтско дејство врз болестите на кардиоваскуларниот систем.

1.5.5 Овошје и зеленчук

Овошјето и зеленчукот содржи голем број биолошки активни компоненти вклучувајќи растителни влакна кои ја подобруваат перисталтиката, фитостероли кои имаат естрогенска функција, како и различни гликозиди, алкалоиди и пигменти (хлорофили и каротеноиди). Некои овошја и зеленчук содржат гоитрогени фактори кои интерферираат во продукцијата на тироидни хормони преку инхибиција на јодот од тироидната жлезда, како и ефикасни хелатирачки агенси (оксална киселина и фитинска киселина). Во сите видови на овошје и зеленчук се присутни витамините од групата В, со исклучок на витаминот В₁₂ кој не е присутен во овошјето. Сите видови овошје содржат полифенолни соединенија, особено флавоноиди како биолошки активни компоненти. Некои овошја се особено богати со минерали и витамини (витамин С) кои имаат висока биолошка расположивост. Различни видови зеленчук и овошје можат да содржат специфични биоактивни компоненти. Така на пр., алил-сулфидите од кромид имаат анти-токсично дејство, изотиоцијанатите од брокулата и лигнаните од семе на лен покажуваат антиканцерогена активност, индолите од лиснат зеленчук и изофлавононите од сојата се карактеризираат со анти-естрогенско дејство.

Во последната деценија се спроведени голем број научни истражувања за антиоксидантниот капацитет на различни видови овошје и зеленчук. Бобинкастото, тропското и цитрусното овошје содржи висока концентрација на флавоноиди и каротеноиди како антиоксидантни соединенија кои учествуваат во неутрализација на слободните кислородни радикали во организмот и го намалуваат ризикот од појава на канцерогени заболувања. Антиоксидантните соединенија имаат многу важна улога во исхраната на човекот во заштита на голем број заболувања кои се поврзани со прекумерната продукција на кислородни радикали и состојбата на оксидативен стрес (кардиоваскуларни болести, дијабет, рак). Антиоксидантните соединенија во овошјето и зеленчукот опфаќаат хидросолубилни антиоксиданти (витамин С, глутатион, полифенолни соединенија) и липофилни антиоксиданти (каротеноиди и токофероли).

Црвеното вино претставува богат извор на антиоксидантни соединенија и овој производ од грозјето се поврзува со феноменот познат како „Француски парадокс“. Терминот „Француски парадокс“ произлегува од клиничките студии кои потврдиле ниска инциденца за појава на кардиоваскуларни заболувања кај одредена популација од Франција која традиционално се исхранува со заситени масти и консумација на црвено вино. Според овие истражувања, ниската инциденца за кардиоваскуларни заболувања се базира на инхибирање на оксидација на липопротеините со мала густина (LDL) под дејство на полифенолните соединенија од црвеното вино. Познато е дека оксидираните производи на LDL имаат значајна улога во развојот на атеросклероза и хронични инфламаторни процеси кои предизвикуваат кардиоваскуларни заболувања.

Фитохемиските истражувања на овошјето и зеленчукот примарно се фокусирани на бобинкасто овошје (капини, малини, рибизли, брусница, јагода), како и на нивните

производи (сокови, вино). Овој тип на овошје е богато со витамини, растителни влакна и различни фенолни и флавоноидни соединенија со антиоксидантна активност. Главни подгрупи на флавоноиди кои се присутни во бобинкастите плодови се антоцијанини, танини (проантоцијанидини, елагна киселина) и флавоноли (рутин, кверцетин). Според некое правило, бобинкастите плодови со поинтензивна боја содржат повисока концентрација на полифенолни соединенија во споредба со плодовите со посветла боја. Литературните податоци покажуваат значајна варијабилност во квантитативниот состав на полифенолните соединенија кај овошјето. Оваа хетерогеност во содржината на биоактивни компоненти во овошјето се должи на разликите во степенот на зрелост на плодовите, условите на култивирање, факторите од надворешната средина, како и постапките за екстракција на биоактивните метаболити и методите за анализа.

Зрната од какао содржат висока концентрација на прости и полимерни полифеноли кои опфаќаат 6-8% (60-80 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) од сувата маса. Во споредба со какаото, содржината на полифеноли кај производите од какао е значајно пониска и изнесува 1,7-8,4 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ во темното чоколадо и 0,7-5 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ во млечното чоколадо. Зелениот чај (*Camellia sinensis*) претставува богат извор на различни полифенолни соединенија (флавоноиди, флаванол, флаван-3,4-диоли и фенолни киселини) кои можат да опфатат до 30% од сувата маса на листовите на растението. Значаен извор на полифеноли претставуваат и преработките од овошје (вино, сокови), како и други производи како што се какаото и зелениот чај.

Зеленчукот и различни производи од зеленчукот се помалку истражувани како извор на феноли во споредба со овошјето. Според литературните податоци, висока содржина на феноли со антиоксидантна активност е потврдена кај неколку видови зеленчук, како брокула, лук, грав, карфиол, домати и блитва. Во последната деценија, полифенолите се сметаат како идеални антиоксиданти кои имаат позитивно влијание врз здравјето.

1.5.6 Мед и пчелини производи

Пчелини производи кои имаат широка примена во прехранбената индустрија како извор на нутритивни и биоактивни компоненти се: **мед, полен, прополис, матична млеч и восок**. Денес е развиена алтернативна медицина позната како **апитерапија** која опфаќа користење на пчелини производи за превенција и лекување на различни заболувања.

Поленот претставува цветен прав кој го собираат пчелите од расцветани растенија и заедно со нектарот од цветовите и секретите на пчелите го складираат во восочните ќелии на саќето како есенцијална храна за пчелните колонии (Сл. 1.26). Поленовите зрна се формираат и созреваат во антерите на прашникот од цветовите. При созревање на прашникот, антерите се отвараат и поленовите зрна се расејуваат преку ветер или инсекти со цел да настане опрашување и оплодување на јајната клетка во плодникот на цветот. Процесот на консумирање на нектарот на цветовите (богат со шеќери) од страна на пчелите се одвива со неминовно залепување на огромен број на поленови зрна и нектар на телото на пчелите, кои подоцна се пренесуваат во ќелиите на саќето. Потоа, пчелите во кошничката го залеваат поленот со мед и подлежи на млечно-киселинска ферментација, при што се формира млечна киселина и се менува хемискиот состав на поленот. Во поленот се присутни сите хранливи материи кои се есенцијални за организмот, како протеини, јаглехидрати, липиди, витамини, минерали, микроелементи, ензими, аминокиселини и фитохормони. Важно е да се напомене дека во поленот се откриени повеќе од 50 ензими

кои имаат функција на биолошки катализатори. Во поленот од саќето доминираат јагленхидратите глукоза и лактоза.



Слика 1.26 А: Консумирање на нектар од страна на пчели, В: Комерцијална форма на полен.

Во средината на минатиот век било потврдено антибактериското дејство на поленот од ќелиите на саќето. Нутритивниот состав на поленот зависи од растителниот вид од кој потекнува поленот. Сепак, поленот не е суперхранлив производ и не може целосно да ги задоволи нутритивните потреби на организмот. Консумацијата на полен во дневни дози од 10 g ги задоволува потребите за есенцијални аминокиселини. Особено значајни компоненти во поленот се ензимите кои имаат влијание врз регулација на голем број физиолошки процеси. Клиничките истражувања покажуваат дека поленот има регулативно дејство врз работата на дигестивниот систем, а поволно влијае и кај индивидуи со хроничен колитис, опстипација и дијареја. Различни видови на полен имаат различни биолошки дејства:

- поленот од багрем има седативно дејство,
- поленот од костен ја подобрува циркулацијата на крвта,
- поленот од глуварче ја подобрува функцијата на бубрезите и уринарните патишта,
- поленот од јаболко и капини имаат тонизирачко дејство.

Поленот треба да се чува во полиетиленски вреќи и да се одржува во суви, чисти и темни простории на температура од 0°C за да се зачуваат сите нутритивни и биоактивни својства на поленот. Дури и при овие услови, поленот губи околу 30% од биоактивните својства за 6 месеци, 75% за 1 година и 100% за 2 години.

За долготрајно чување и одржување на биолошката активност на поленот се користат следните методи:

- полна тегла со исушен полен се прекрива со слој од мед (2-3 cm),
- поленот се меша со двојно поголема количина на кристален шеќер и се става во херметички затворена тегла,
- поленот се меша со еднаква количина на мед и хомогената смеса се става во тегла и се прекрива со слој од чист мед пред херметички да се затвори
- поленот се става во запечатени пластични ќеси и се чуваат на температура до 4°C.

Поленот се користи како лековито средство при следните заболувања: анемија, астенија, стомачни заболувања, атеросклероза, импотенција, зголемен крвен притисок, простатитис и аденом на простата, хепатитис, цироза и неврози.

Прополисот (пчелин лепак) е смолеста супстанца која ја произведуваат пчелите преку мешање на нивната салива и пчелиниот восок со собраниот ексудат од пупките или растителниот сок (Сл. 1.27). Прополисот го произведуваат само мал број на пчели работнички од кошницата кој се користи од страна на пчелите за:

- пополнување на сите отвори во кошницата за да се заштити од дожд и снег,
- зајакнување на стабилноста на кошницата,
- подобрување на термичката изолација на кошницата и спречено губење на вода,
- заштита на саќето од патогени организми поради антимикробно дејство на прополис,
- стерилизација на ќелиите од саќето.



Слика 1.27 А: Прополис во саќе, В: Сiroва форма на прополис.

Прополисот има темнозелено до кафено-црвенкаста боја, а специфичниот мирис потсетува на мирис на брезови пупки или борови иглички. При согорување на прополисот се јавува карактеристичен мирис на темјан. Прополисот станува леплив на високи температури, а на ниски температури се лади и лесно се рони. Температурата на топење на прополисот изнесува 64-69°C. Прополисот целосно се раствора во етер и хлороформ, а делумно се раствора во алкохол. Во топла вода, прополисот се издвојува од восокот на дното од садот, а восокот испливува на површината.

Прополис содржи растителни **смоли** (55%), **восок** (30%), **естерични масла** (10%), **полен** (5%) и други соединенија. Сепак, хемискиот состав на прополисот зависи од растителниот вид и подрачјата од кои пчелите го собираат. Истражувањата покажуваат дека прополисот има антисептично, бактериостатско, антифунгално, антиоксидантно, анти-инфламаторно и антитуморно дејство.

Матичната млеч се секретира од жлездите на младите пчели работнички кои сè уште не летаат и се стари 6-12 дена. Овој пчелин производ претставува мешавина од цветен полен, мед и секрет од жлездите на пчелите и се користи за хранење на сите ларви на пчели во кошницата, вклучувајќи ја и пчелата-матица (Сл. 1.28). Матичната млеч е млечно бела и леплива материја со кисел и малку горчлив вкус и специфичен мирис. Антимикробното дејство на матичната млеч во саќето се должи на киселата рН средина која изнесува 3,5-4,5. Според хемискиот состав, матичната млеч се состои од протеини, шеќери и витамини од групата В, како тиамин, рибофлавин, пиридоксин и пантотенска киселина (Таб. 1.23).



Слика 1.28 А: Матична млеч во саќе, В: Комерцијални форми на матична млеч.

Матичната млеч најчесто се употребува како 50% алкохолен раствор или во комбинација со мед, на таков начин што се задржува подолго време под јазикот. Долгото задржување на матичната млеч под јазикот има особено значење за ефикасно апсорбирање во организмот преку плунковните жлезди. Најголеми произведувачи на матична млеч во светот се Кина и Тајван, каде што годишно се произведува повеќе од 1000 t. Во нашите простори, матичната млеч најчесто се користи како готов производ во комбинација со други додатоци и според законските прописи не се класифицира како лек. Клиничките истражувања покажуваат дека матичната млеч има антибактериски, антифунгални и антивирусни својства. Во тој контекст, консумацијата на матична млеч ја зголемува отпорноста на организмот кон бактериски, габични и вирусни инфекции.

Табела 1.23 Хемиски состав на матична млеч.

Состав	Свежа маса (%)	Сува маса (%)
Вода	68,07	16,86
Протеини	11,15	34,90
Маси	5,61	17,50
Јаглехидрати	8,94	27,90
Минерални материи	0,81	2,84

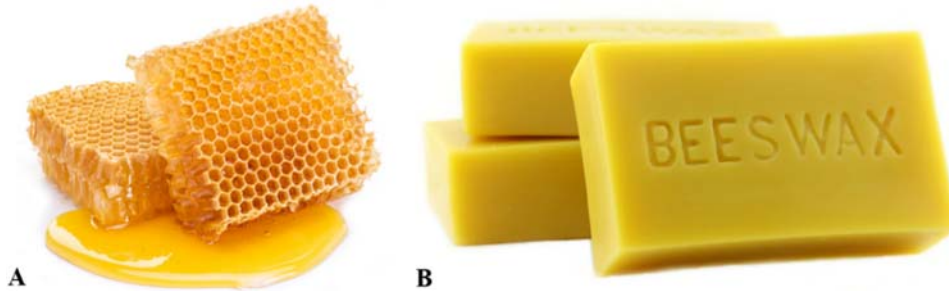
Според научните истражувања, главни придобивки од консумација на матична млеч се:

- стимулација на развојот и функција на полов систем,
- стимулација на нервен систем преку синтеза на адреналин,
- модулирање на имунолошки систем преку инхибиција на ослободување на хистамин,
- зголемување на телесна издржливост кај спортисти,
- нормализирање на крвен притисок,
- зараснување на коски и регенерација на фрактури на коски,
- зараснување на рани преку анти-инфламаторно дејство,
- регенерација на црн дроб.

Стабилноста на матичната млеч се намалува под дејство на топлина, светлина, влага, кислород и други хемиски фактори. При висока топлина, матичната млеч ја губи влажноста, а светлината може да биде катализатор на некои ензимски реакции и да го смени составот на матичната млеч. Присуството на кислород може да предизвика оксидација на витамините. Во свежа состојба, матичната млеч може да се чува во фрижидер на температура од -2°C за време од 6 месеци, а на температура од -18°C до 1 година. Ефикасен метод за долготрајно чување на матичната млеч е лиофилизацијата, односно негово сушење на ниска температура (-60°C) под дејство на вакуум за да се добие лиофилизиран прашок.

Восокот е спореден производ кој се секретира од восочните жлезди на хитинската обвивка на пчелите работнички за да се добие саќето. Секрецијата на восокот од пчелите зависи од исхраната со мед и поленот. При контакт со воздухот, секретираниот восок од жлездите добива цврста конзистенција и се формираат мали и транспарентни плочи. Потоа, пчелите ги цвакаат восочните плочи и ги мешаат со саливата, при што се формираат **хексагонални ќелии на саќето** (Сл. 1.29).

Пчелиниот восок има бела, жолта или жолто-кафеава боја во зависност од пигментите од поленовите зрна кои влегуваат во составот на восокот. Точката на топење на восокот изнесува 56-64°C и со негово топење се губи природната боја. Овој пчелин производ има пријатен мирис кој со стоене се губи. Восокот се раствора во етер и хлороформ, а не се раствора во вода. Според хемискиот состав, пчелиниот восок се состои од **естри** (70-75%), **јаглеводороди** (11-17%), **масни киселини** (12-15%), **виши алкохоли**, **полен** и **прополис**.



Слика 1.29 А: Саке и пчелин восок, В: Комерцијални форми на восок.

На пазарот може да се најде и вештачки восок кој се произведува од парафин, церезин, стеарин, маст или растителни восоци. Природниот восок може да се потврди на таков начин што ако се натопа во вода се појавува заматување на него за 2 дена. Од друга страна пак, кај вештачкиот восок не се формира заматување, дури и ако содржи минимално количество на парафин. За разлика од природниот восок, вештачкиот восок нема зрнест изглед на напречен пресек и напукнува со криви линии.

Восокот има примена во подготовка на **восочна плоча** која служи како основа врз која пчелите го формираат сакето. Во изработката на восочните плочи се користи висококвалитетен восок без дополнителни примеси. Овие восочни плочи се изработуваат во специјални работилници кои треба да поседуваат апарат за дезинфекција на восокот. Исто така, голема количина на восок се троши за производство на свеќи. Во индустријата се користи жолт восок и бел восок. Восокот може да побели на природен начин при изложување на сонце или на хемиски начин. Белиот восок има широка примена во козметичката индустрија, фармацијата и стоматологијата. Жолтиот восок се користи во хемиската, текстилната, прехранбената, кожарската индустрија и електроиндустријата.

Пчелиниот отров (апитоксин) е безбојна течност која се секретира од жлездите на апаратот за боцкање кај пчелите работнички. Главната функција на пчелиниот отров е заштита на пчелата и пчелината заедница од други инсекти и животни. Всушност, пчелиниот отров има цитотоксично и хемотоксично дејство и предизвикува локално воспаление на местото на убодот. Пчелиниот отров е густа течност со карактеристичен мирис и горчливо кисел вкус. Според хемискиот состав, пчелиниот отров е составен од **протеини** и **пептиди** (мелитин), **ензими** (фосфолипаза, хујалуронидаза, α -глукозидаза), **амини** (хистамин) и некои **аминокиселини** и **прости шеќери**.

Убодот на пчелите со апитоксин е прифатена пракса во класичната медицина. Познато е дека пчелиниот отров покажува за 30% повисока активност од змискиот отров, меѓутоа преку змискиот убод се вбригува поголема количина на отров во организмот. Дејството на високи дози од пчелиниот отров не е целосно познато, но се смета дека 300-400 убода со пчелин отров претставува смртоносна доза кај човекот. Производството на поголеми

количини на пчелин отров станало редовна пракса откако се открило дека пчелите реагираат на слаб струен удар со испуштање на капки од отровот преку апаратот за боцкање.

Во народната медицина, пчелиниот отров се применува како антиревматик, како и за ублажување на болки и намалување на крвен притисок и холестерол во крвта. Исто така, пчелиниот отров има превентивна улога кај организмот од заразни болести и се користи за лекување на артритис, различни невралгии и акутни воспаленија на крвните садови.

1.5.7 Стимуланси и пијалоци

Во групата на стимуланси како прехранбени производи спаѓаат кафе, чај, какао, енергетски пијалоци, тутун, алкохолни пијалоци и други опијати. Во кафето, чајот и производите на какао се присутни различни деривати на ксантин, како кофеин, теофиллин, теобромин, гуаранин и други (Таб. 1.24). Според стручната литература, во групата на стимуланси и средства за уживање се вбројуваат и алкохолот, чоколадото и зачините.

Табела 1.24 Содржина на кофеин во различни производи.

Пијалоци	Содржина (mg)
Еспресо	95
Кафе без кофеин	5
Вреќичка чај	50
Леден чај	42
Зелен чај	30
Кока кола	45
Енергетски пијалок	130

1.5.8 Зачини

Зачините се производи од растително потекло со специфичен мирис и вкус кои се додаваат во прехранбените производи и пијалоците за подобрување на сензорните својства на храната. Како зачини се користат ароматични делови од зачинските растенија (корен, кора, цвет, цветна пупка, плод, семе), а можат да бидат и во форма на парчиња и помали делови, зрна, мешунки или прав. Зачините со интензивен мирис и вкус го стимулираат апетитот и ја подобруваат дигестијата на храна преку секреција на дигестивни сокови. Зачините најчесто содржат протеини, скроб, шеќери, танини и пигменти.

Присуството на алкалоиди кај некои зачини може да предизвика дразнење на дигестивниот систем. Некои зачини со висока содржина на ароматични етерични масла се користат како природни суровини за производство на арома. Зачините кои се користат во исхраната можат да се подготвуваат на различни начини, како свежи, сушени, мелени, цели плодови, делови од растение или како екстракти. Во светот се користат огромен број на зачини, а во нашето поднебје најчесто се употребуваат: бибер, мелена пиперка, кромид и лук во прав, целер, коријандер, ким, мајоран, каранфилче, мускатно оревче, ѓумбир, ловоров лист, рен, глог, жалфија, босилек, нане, рузмарин, анасон, оригано, ванила и други (Таб. 1.25). Зачините треба да се пакуваат и чуваат во соодветни услови за да се спречи губењето на биолошки активните компоненти од зачините.

Табела 1.25 Биолошки активни компоненти во зачини.

Биоактивни компоненти	Извор	Физиолошко дејство
β-Каротен	Овошје и зеленчук со жолта и портокалова боја	Намалување на ризик за појава на катаракт, коронарни болести и канцер на бели дробови. Стимулирање на имунитет
Капсаицин	Пиперки	Намалување на ризик за појава на канцер на дебело црево и желудник
Индоли	Зелка, спанаќ, брокула, карфиол	Стимулирање на глутатион-S-трансфераза. Инхибирање на раст на туморни клетки
Изотиоцијанати	Зелка, брокула, карфиол	Инхибиција на канцерогени процеси предизвикани од чад од цигари.
Полиацетилени	Магнонос, морков, целер	Намалување на ризик за појава на канцер предизвикан од чад од цигари. Влијание врз продукција на простагландини
Сулфиди	Кромид	Антимикробен, антиоксидантен и антиканцероген ефект. Ензимска инактивација на канцерогени
Селен	Лук, кромид, домати	Антиоксидантно дејство и синтеза на глутатион пероксидаза. Намалување на ризик за појава на заболувања на срцето

1.5.9 Печурки

Печурките се посебен вид на производи кои се користат во исхраната и подлежат на строга контрола поради тоа што јадливите печурки можат да се заменат со отровни печурки. Од околу 15 вида на печурки кои се одгледуваат во светот, во исхраната најчесто се користат **шампињони, буковки и шитаке**. Шампињонот е најпозната печурка на нашите простори. Според нутритивниот состав и органолептичките својства, печурките претставуваат хранлив производ кој ги поседува сите значајни компоненти во човековата исхрана. Печурките имаат ниска содржина на масти, а висока содржина на протеини, витамини, минерали и влакна. Исто така, печурките се богати со полисахариди со висока молекулска маса, комплекси на полисахариди и протеини, тритерпеноиди, стероиди и други соединенија со поволно влијание врз човековото здравје. Клиничките истражувања покажуваат дека печурките имаат антиканцерогено и антиоксидантно дејство и го намалуваат ризикот од појава на срцеви заболувања поради нивното хипохолестеролемично дејство. Така на пр., високата содржина на селен кај шитаки печурките има превентивно дејство врз појава на канцерогени заболувања. Исто така, селенот е значаен минерален елемент кој го активира антиоксидантниот ензим глутатион пероксидаза и на таков начин ги заштитува нуклеинските киселини од дејството на слободните радикали.

1.5.10 Алги или морски треви

Алгите се користат во исхраната во форма на различни јадења, функционална храна или како додаток на исхраната. Морските алги имаат широка примена во исхраната, бидејќи нивниот минерален состав е сличен со морската средина која ги содржи сите минерални елементи кои треба да бидат застапени во секојдневната исхрана. Според литературните податоци, во морските алги се застапени магнезиум, железо, калциум, цинк, селен и јод. Минералните материи во алгите се присутни во хелатна форма и се карактеризираат со висока биорасположивост во организмот. Особено е значајно присуството на јод во алгите кој учествува во регулација на функцијата на тироидната жлезда која влијае врз речиси сите метаболички процеси во човековиот организам. Исто така, алгите претставуваат богат извор на витамини, како што се рибофлавин, пантотенска киселина, тиамин, ниацин, витамин С и витамин К. Нутритивните компоненти во алгите се претставени со јаглехидратите и протеините, а липидите се застапени во ниска концентрација. Главни групи на биолошки активни соединенија во алгите се **фукани** (сулфонирани полисахариди), **полифеноли** и **лигнани**, кои имаат различни биолошки ефекти во човековиот организам. Морските алги можат да се користат за превенција на канцерогени заболувања, бидејќи содржат висока концентрација на антиоксидантни фенолни соединенија. Фуканите од алгите имаат функција на анти-инфламаторни соединенија кои го намалуваат воспалителниот одговор во организмот и згрутчувањето на крвта. Лигнаните имаат фитоестрогенско дејство и можат да се користат за ублажување на симптоми при предменструален синдром кај жени и за превенција од појава на рак на дојка. Алгите можат да се користат во секојдневната исхрана во форма на прашоци или капсули како зачин или додаток на исхраната. Исто така, алгите можат да се користат како функционална храна во свежа или сува форма.

2. ДОДАТОЦИ НА ИСХРАНАТА

Додатоците на исхрана претставуваат концентриран извор на хранливи или други компоненти со нутритивна или физиолошка функција во организмот. Овие додатоци на исхраната се достапни на пазарот во дозирана форма и имаат функција во:

- подобрување на внесот на хранливи компоненти во вообичаената исхрана,
- надополнување на исхраната со компоненти кои при нормален внес на храна не ги задоволуваат дневните потреби,
- подобрување на влијанието врз здравјето на потрошувачот.

Додаток на исхраната е секој производ кој го подобрува квалитетот на исхраната. Редовната консумација на додатоците на исхраната ја подобрува отпорноста на организмот кон надворешни стрес фактори и помага во одржувањето на физиолошките функции во организмот. Додатоците на исхраната (суплементи) се достапни на пазарот во форма на меки или тврди капсули, прашоци, таблети, капки или чаеви и можат да претставуваат посебни компоненти или како составен дел на конвенционалната храна.

Анализата на квалитетот на додатоците на исхраната не се спроведува во државните институции, туку овие анализи се извршуваат од страна на производителите. За разлика од лековите, додатоците на исхраната не подлежат на регистрација во државните институции за лекови и овие процедури најчесто се спроведуваат од страна на Агенциите за храна.

Ефикасноста на додатоците на исхраната се одредува според видот и содржината на биолошки активните материи во производот. Така на пр., ефикасноста на таблетите составени од збогатен квасец со селен се базира на одредување на вкупната содржина на селен во крајниот производ. Исто така, квалитетот на таблетите за „добро расположение“ кои содржат кантарионово масло се одредува според содржината на хиперицин како главна биоактивна компонента. Голема популарност кај консументите имаат суплементите кои се користат за слабеење или содржат висока концентрација на антиоксиданти.

Додатоци на исхраната се производи кои најчесто се составени од една или повеќе есенцијални хранливи материи како што се:

- витамини,
- минерали,
- ψ -3 и ψ -6 масни киселини,
- слободни аминокиселини или хидролизати од протеини,
- ензими,
- антиоксиданти,
- концентрати или екстракти од лековити растенија,
- живи култури од микроорганизми.

Зависно од биолошката активност во организмот, додатоците во исхраната можат да се класифицираат во посебни групи и да се користат за:

- заштита од оксидативен стрес и дејство на слободни радикали,
- градба на мускулна маса и поголема издржливост на мускули,
- заштита на кардиоваскуларен систем,
- заштита од појава на канцерогени заболувања,
- заштита од појава на инфективни заболувања,
- заштита од остеопороза,
- заштита од губење на меморија.

Постојат различни категории на луѓе кои не можат квалитетно да се исхрануваат или не можат да ги задоволат минималните количини на сите неопходни хранливи материи (спортисти, постари индивидуи, трудници, пилоти, патници, полицајци, студенти, пациенти, пушачи). Додатоците на исхраната спречуваат појава на заболувања кои произлегуваат од дефицит на хранливите соединенија. Исто така, додатоците на исхраната се сметаат како храна и лек, бидејќи нивната ефикасност зависи од дозата на консумирање. Така на пр., RDA препораките за калциум кај адолесценти и возрасни индивидуи изнесува 1200-1300 mg. Сепак, потребите за калциум треба да се задоволат со дневна доза од 1000 до 1500 mg која треба рамномерно да се распредели во текот на денот со цел максимално да се искористи калциумот од организмот. Во овој случај, калциумот се смета како додаток на исхраната, а повисоките дози од 1500 mg се сметаат како лек и треба да се консумираат со препорака или надзор од лекар. Препорачаниот дневен внес за витамин С изнесува 60 mg, а консумацијата на 3 пати поголеми количества од RDA вредностите нема негативни ефекти врз здравјето, бидејќи вишокот на овој хидросолубилан витамин се елиминира преку урината. Вистинска заблуда е дека консумацијата на додатокот на исхраната може да има моментални придобивки во организмот, бидејќи оваа група на храна овозможува надополнување на правилната и добро балансираната исхрана (Таб. 2.1).

Табела 2.1 Препорачан дневен внес (RDA) на микронутриенти.

Микронутриент	RDA	Микронутриенти	RDA
Витамин А	3,33 IU	Биотин	100 µg
Витамин D	200 IU	Пантотенска киселина	7 mg
Витамин Е	15 IU	Ca	1000 mg
Витамин К	80 µg	P	900 mg
Витамин С	60 mg	Mg	350 mg
Витамин B ₁	1,5 mg	Cu	3 mg
Витамин B ₂	1,7 mg	I	150 µg
Ниацин	19 mg	Fe	10 mg
Витамин B ₆	2 mg	Se	70 µg
Фолат	200 µg	Zn	15 mg
Витамин B ₁₂	2 µg	Mn	1,9 mg

Голем број додатоци на исхраната се користат за специфични потреби или недостатоци во исхраната. Така на пр., ω-3 масните киселини имаат поволно дејство врз намалување на крвниот притисок и соодветно на тоа го намалуваат ризикот од појава на коронарни заболувања. Исто така, фитоестрогените со потекло од сојата имаат есенцијално значење за намалување на симптомите на менопауза кај жените. Спортистите се фокусирани на консумирање на креатин и протеини како додатоци во исхраната за развој на мускулното ткиво и подобрување на нивните физички перформанси. Од друга страна пак, индивидуите со артритис користат додатоци на исхрана со глюкозамин или хондроитин сулфат.

Аминокиселината аргинин има особено значење како додаток на исхраната. Истражувањата кај анимални модели покажале дека консумацијата на храна која содржи 2% аргинин ја зголемува отпорноста на инфекции и стапката на преживување во споредба со животните кои консумирале храна без аргинин. Всушност, суплементацијата со аргинин има тимотропно дејство, бидејќи го зајакнува одговорот на лимфоцитите од тимусот кои се

одговорни за клеточниот имунитет. Присуството на аргинин во секојдневната исхрана може да ја зголеми ретенцијата на азот во организмот и да го стимулира зараснувањето на рани. Во додатоците на исхраната се користи и аминокиселината глутамин која има особина на пуфер и има значајна улога во отстранувањето на аминокиселините добиени при катаболизмот на протеините и деградација на аминокиселините, при што се формира уреа. Незаситените ω -3 и ω -6 незаситени масни киселини се есенцијални масни киселини кои се користат како додатоци на исхраната во форма на капсули. Овие масни киселини можат да се користат и за синтеза на арахидонска киселина, која е почетно соединение за синтеза на еикосаноиди, од кои се добиваат простагландини и леукотриени како анти-инфламаторни соединенија.

Голем број растителни метаболити кои претставуваат биолошки активни соединенија со терапевтско дејство врз организмот не се сметаат како додатоци на исхраната. Така на пр., производите кои содржат *Ginko biloba* за подобрување на циркулацијата и меморијата се достапни на пазарот како додаток на исхраната, поради тоа што не се јасно поставени границите помеѓу додатоците на исхраната и лековите. Сличен таков пример се производите кои содржат *Echinacea* за зајакнување на имунитетот. Во Европа, препаратите кои содржат растителни метаболити со биолошка активност се регистрирани како лекови и не се достапни како додатоци на исхраната. Кај голем број европски земји, како и Кина, Индија, Јапонија и САД постои иницијатива за класифицирање на растителните препарати како посебна група на традиционални лекови.

2.1 Антиоксидантите како додатоци на исхрана

Антиоксидантите претставуваат соединенија кои имаат способност да ги неутрализираат слободните кислородни или азотни радикали во организмот и на таков начин ги заштитуваат клеточните макромолекули од оксидативни оштетувања. Исхраната на човекот треба да содржи широк спектар на антиоксиданти кои се карактеризираат со различни механизми на дејство и специфични целни места во клетките.

Главни **егзогени антиоксиданти** кои можат да се внесат во организмот преку исхраната и додатоците на исхраната се:

- витамин Е,
- витамин С,
- цинк,
- селен,
- каротеноиди,
- фенолни соединенија (флавоноиди).

Ендогени антиоксиданти кои можат да се синтетизираат во организмот и дополнително да се внесат преку исхраната се:

- глутатион,
- коензим Q10,
- α -липоична киселина.

Витаминот С покажува значајна антиоксидантна активност во респираторниот систем, каде што учествува во детоксификација на вдишани оксидирани токсични материи. Сепак, витаминот С во присуство на поголема количина на слободни јони на железо и бакар може да има про-оксидативно дејство. Исто така, ефикасни антиоксиданти кои се конзумираат во исхраната се минералите цинк и селен, флавоноидите, лигнаните и други фенолни соединенија. Од групата на каротеноиди, ефикасни антиоксиданти кои се користат како

додатоци на исхраната се β -каротен, ликопен и зеаксантин. Особено значајно антиоксидантно соединение е α -липоичната киселина, кое дополнително учествува во намалувањето на гликемијата, а препорачаниот дневен внес изнесува од 20 до 600 mg.

2.2. Протеини и аминокиселини како додатоци на исхрана

Постојат 22 аминокиселини кои учествуваат во структурата на протеините. Особено значајна класификација на аминокиселините опфаќа нивна поделба на **есенцијални** и **неесенцијални аминокиселини** (Таб. 2.2). Есенцијалните аминокиселини не можат да се синтетизираат во организмот и затоа е неопходно да се внесуваат преку исхраната. Есенцијални аминокиселини се: лизин, леуцин, изолеуцин, метионин, фенилаланин, триптофан, треонин и валин. Постои и посебна класа на **условно есенцијални аминокиселини**, како аргинин и хистидин кои организмот не може да ги синтетизира во доволни количества при одредени услови (бременост, раст во адолесценција, трауматски состојби). Неесенцијалните аминокиселини се синтетизираат во организмот и можат да се исклучат од секојдневната исхрана. Во групата на неесенцијални аминокиселини се вбројуваат: глицин, аланин, пролин, тирозин, серин, цистеин, аспарагинска киселина, глутаминска киселина, аспарагин и глутамин.

Табела 2.2 Есенцијални и неесенцијални аминокиселини.

Есенцијални аминокиселини	Условно есенцијални аминокиселини	Неесенцијални аминокиселини	Останати аминокиселини
Леуцин	Аргинин	Глутаминска киселина	Таурин
Изолеуцин	Хистидин	Аспарагинска киселина	Карнитин
Валин		Глицин	
Метионин		Глутамин	
Триптофан		Аспарагин	
Лизин		Аланин	
Треонин		Серин	
Фенилаланин		Цистеин	
		Пролин	
		Тирозин	

Отсуството на само една есенцијална аминокиселина може да ги наруши физиолошките процеси и синтезата на протеини во организмот. При различни заболувања, исцрпеност или изложеност на организмот на тешка физичка работа (спортисти) или посебни начини на исхрана (веганска диета), неопходно потребно е да се надополни исхраната со есенцијални аминокиселини во форма на посебни препарати. Есенцијални аминокиселини кај новороденчињата се и аминокиселините цистеин, аргинин и таурин. Вегетаријанците имаат недостаток на аминокиселините аспарагин и карнитин кои се присутни во месото и млечните производи. Истражувањата покажуваат дека во исхраната на населението најчесто недостасуваат три аминокиселини: триптофан, лизин и метионин.

Аминокиселините имаат витално значење за човековиот организам, бидејќи во организмот се користат за синтеза на протеини, биогени амини, антитела и нуклеински киселини (ДНК и РНК). Особено висока ефикасност покажуваат додатоците во исхраната кои содржат комбинација на аминокиселини и витамини кои учествуваат во нивниот метаболизам (витамини од В-комплекс). Некои аминокиселини (аргинин, леуцин, изолеуцин, валин, глутамин и таурин) имаат способност да ги забрзуваат метаболичките процеси во организмот. Doddатоците на исхраната кои содржат аминокиселини можат да бидат течности или прашоци, во поединечна форма или како балансирани формулации на аминокиселини. Аминокиселините како додатоци на исхраната можат да се конзумираат со вода или сок, а не се препорачува нивно внесување со млеко. Правилната консумација на аминокиселините како суплементи во исхраната може значајно да ја подобри општата здравствена состојба на организмот и квалитетот на животот кај индивидуи кои неправилно се исхрануваат, спортисти и лица со патолошки состојби. Сите видови на аминокиселини, особено есенцијалните аминокиселини се достапни во продажба, а некои од нив имаат поголемо комерцијално значење.

L-глутаминот е најзастапена аминокиселина во организмот која опфаќа 60% од сите слободни аминокиселини во организмот. Оваа аминокиселина има големо значење за растот на мускулите, а може да се користи и за ублажување на последици од алкохолизам, нормализирање на функцијата на имунолошкиот систем, како и при зголемена синтеза на хормонот за раст. Организмот може да го искористува глутаминот како енергија или за синтеза на нов протеин или други аминокиселини. Исто така, глутаминот има значајна функција во физиологијата на дигестивните органи, особено црниот дроб и кардиоваскуларниот систем. Ако постои дефицит во организмот за глутамин, тогаш оваа аминокиселина се искористува од достапните органи, како што се мускулите. Дневните потреби за глутамин од 5-10 g се доволни за да се одржи неговата концентрација во мускулите и да се спречи негово искористување за други потреби во организмот. Глутаминот во форма на прашок се конзумира со течности и може да се зема во било кој период од денот, а спортистите најчесто го користат по вежбањето. Сепак, постојат случаи на стимулантно дејство на глутаминот и затоа треба да се избегнува негово конзумирање во доцните часови пред спиење.

Аминокиселините со разгранет синцир, како што се леуцин, изолеуцин и валин се присутни во мускулното ткиво и се користат за производство на енергија и синтеза на протеини. Исто така, овие аминокиселини учествуваат во метаболизмот на невротрансмитери и хемиските процеси во мозочното ткиво кои влијаат врз расположението и менталните функции. Овие аминокиселини сочинуваат 1/3 од вкупните аминокиселини во мускулните ткива. Doddатоците на исхраната кои ги содржат аминокиселините со разгранет синцир најчесто се користат при извршување на тешки физички активности и спортски тренинзи. Главни природни извори на **валин** во исхраната се риба, сирење и некои семки, извори на **леуцин** се млечни производи, телешко и пилешко месо и лиснат зеленчук, а на **изолеуцин** се јајца, пилешко месо, соја, сирење и млеко.

L-карнитинот е дериват на аминокиселината лизин кој претходно бил именуван како витамин ВТ, додека не било откриено дека се синтетизира во човечкиот организам. Сепак, L-карнитинот може да биде условно есенцијална аминокиселина во услови кога потребата за оваа аминокиселина е повисока од способноста на организмот за негова синтеза. L-Карнитинот во организмот се синтетизира во црниот дроб и бубрезите, а потоа се транспортира до другите ткива и органи. Висока концентрација на L-карнитин се наоѓа во

скелетните мускули и срцевиот мускул кои активно учествуваат во оксидација на масните киселини. Всушност, L-карнитинот има важна улога во производство на енергија во организмот бидејќи учествува во транспортот на активираните масни киселини во митохондријалниот матрикс каде што се врши нивна оксидација. L-карнитинот се синтетизира од аминокиселината лизин, а биосинтезата зависи и од присуството на витамин С, витамин В₆, ниацин, железо и аминокиселината метионин. Главен извор на карнитин е црвеното месо.

Креатинот има голема популарност како додаток на исхраната кај спортистите. Креатинот во форма на бел кристален прав од креатин монохидрат има стероидна структура од природно потекло и може легално да се користи за надополнување на исхраната кај спортистите. Во човековиот организам, креатинот се синтетизира во црниот дроб од аминокиселините глицин, метионин и аргинин. Консумацијата на креатин влијае врз задржувањето на вода во организмот, бидејќи развитокот на мускулната маса започнува кога ткивата се снабдени со 75% вода. Сепак, прекумерното задржување на вода во организмот е непријатна состојба која може да предизвика надуеност, особено во ткивата околу мускулите. Природни извори на креатин се животинските производи, особено месо и риба. Креатинот како додаток на исхраната се консумира помеѓу оброци во форма на таблети или прашок помешан со вода. Апсорбираниот креатин од гастро-интестиналниот систем навлегува во крвотокот и се транспортира во мускулното ткиво. Притоа, 1 g креатин внесува околу 50 g вода во мускулните клетки кои добиваат посилна и поцврста структура. Исто така, креатинот ја зголемува содржината на фосфокреатин во мускулите, при што се зголемува ослободувањето на АТР како енергетска сила за контракција на мускулите.

Мелатонинот се синтетизира од аминокиселина триптофан во епифизата, а може и дополнително да се внесе во организмот како додаток на исхрана. Сепак, мелатонинот не е широко распространет во храната и најчесто е присутен во јаболкото и млекото. Мелатонинот има значајно влијание врз циркадијалниот ритам и регулацијата на сонот кај човекот. Важно е да се напомене дека мелатонинот се синтетизира под дејство на светлината и неговата концентрација во организмот може значајно да влијае врз депресивноста кај луѓето. Производите кои содржат мелатонин се достапни како додатоци на исхраната во САД од 1993 година, а неговата продажба е нелегална во многу земји. Така на пр., во Германија мелатонинот се смета како забранета супстанца и не е достапна за комерцијална употреба.

2.3 Витамини и минерали како додатоци во исхрана

Сите здрави индивидуи треба секојдневно да внесуваат витамини кои имаат есенцијално значење за човековото здравје. Мултивитамините во комбинација со минерали се најчесто користени додатоци на исхраната кај луѓето. Особено се популарни мултивитамините кои содржат фолна киселина како претставник од групата на В витамини, која најчесто не се внесува според дневно препорачаните дози преку исхраната. Овие додатоци на исхраната најчесто содржат 13 витамини во комбинација со селектирани минерали. Дневно препорачаните дози за витамините и минералите во додатоците на исхраната и другите производи ги одредува Агенцијата за храна и лекови (FDA). Минералните елементи во додатоците на исхраната најчесто се застапени во форма на минерални соли или хелатни соединенија.

2.4 Легислатива

Постојат неколку организации кои се одговорни за воспоставување на законска легислатива преку која се дефинираат додатоците на исхраната како храна или лек:

- Светска здравствена организација (World Health Organization-WHO),
- Организација за храна и земјоделство (Food and Agriculture Organization-WHO),
- Управа за храна и лекови (Food and Drug Administration-FDA),
- Европска агенција за безбедност на храна (European Food Safety Authority-EFSA).

Критериумите според кои се одредува нутритивната или здравствената природа на додатоците на исхраната се базираат на користење на прехранбени стандарди и препораки, како и научни тврдења.

Според **Правилникот за здравствена исправност на диетални намирници**, додатоците на исхраната се диететски намирници за посебни прехранбени потреби кои според својот состав или процес на производство се разликуваат од намирниците со вообичаен состав и се наменети за исхрана на здрави доенчиња и мали деца, индивидуи со пореметен процес на варење на храна или метаболизам, како и индивидуи кои се наоѓаат во посебни физиолошки состојби и кај кои е потребно да се постигне посебно дејство преку контролиран внес на одредени состојки од намирниците.

Според **Директива 2002/46/ЕС на Европската Унија**, додатоците на исхраната (диететски намирници) се концентрирани препарати на витамини, минерали или други соединенија, како што се аминокиселини, есенцијални масни киселини, влакна и различни растителни и животински екстракти кои доаѓаат во промет во форма на капсули, таблети и други дозирани форми. Главна цел на оваа Директива е да се овозможи високо ниво на заштита на здравјето на населението и воспоставување на законска рамка за производителите на додатоците на исхрана. Важно е да се напомене дека преку Директивата 2002/46 се регулира составот на додатоците на исхраната (позитивна листа на витамини и минерали) и се поставени правилата за означување, форма и рекламирање на додатоците на исхраната. Исто така, во Директивата се наведуваат најголемите количини на витамини и минерали кои може да ги содржи еден додаток на исхрана.

Според **Законот за безбедност на храната на Република Северна Македонија**, додатоците на исхраната е храна чија цел е да ја дополнуваат нормалната исхрана и кои се концентрирани извори на хранливи состојки или други супстанции со прехранбен или физиолошки ефект, сами или во комбинација, произведени во вид на капсули, пасти, таблети, кеси со прашкаста супстанца, ампули со течност и други слични форми на течни или прашкасти супстанции дизајнирани да можат да бидат употребени во мали мерливи единечни количини.

На сличен начин како и во Европската Унија, според законската регулатива во Република Северна Македонија, додатоците на исхраната се сметаат како храна и затоа нивниот квалитет мора да ги задоволи барањата на Законот за безбедност на храна.

При Агенцијата за храна и ветеринарство на Република Северна Македонија функционира Одделението за додатоци на исхрана, храна за посебна нутритивна употреба, збогатена храна и адитиви. Ова одделение го следи европското законодавство и учествува во подготовката на националната легислатива која се однесува на:

- Додатоците на исхрана,
 - Храната за посебна нутритивна употреба:
 - Почетна формула за доенчиња и последователна формула за доенчиња,

- Преработена храна на житна основа и детска храна за доенчиња и мали деца,
- Храна наменета за употреба во диетите со ограничување на енергијата заради намалување на тежината,
- Диететски производи за посебни медицински намени,
- Производи наменети за употреба при интензивен мускулен напор, посебно за спортисти,
- Производи за лица кои имаат нарушувања на метаболизмот на јаглехидрати,
- Храната на која и се додадени витамини, минерали и одредени други супстанции - збогатена храна,
- Адитивите кои се користат во производството на храна,
- Листи на дозволени супстанции кои можат да се употребуваат во производство на додатоци на исхрана, храна за посебна нутритивна употреба и збогатена храна,
- Листи на забранети супстанции кои не можат да се употребуваат во производство на додатоци на исхрана, храна за посебна нутритивна употреба и збогатена храна.

2.5 Користење на додатоци на исхрана

Додатоците на исхраната треба да се користат во консултација со лекар, фармацевт или нутриционист. Дневната доза на додатокот на исхраната се разликува кај здрави и болни индивидуи. Важно е да се напомене дека користењето на додатоците на исхраната во преголеми дози може да има негативни последици врз човековото здравје.

Според препораките на FDA, со храната треба да се внесуваат 4 важни антиоксиданси:

- витамин С,
- β-каротен (прекурсор на витамин А),
- витамин Е (токоферол),
- селен како есенцијален елемент за антиоксидантните ензими глутатион пероксидаза и тиоредоксин редуктаза.

Повременото консумирање на препорачани дози на токоферол, витамин С или β-каротен не предизвикува споредни или штетни ефекти врз здравјето на организмот. Исто така, повремено консумирање на поголема доза од препорачаната доза (освен за витамин А и D) нема штетно влијание врз организмот. Штетното влијание на некои витамини врз организмот зависи од дополнителни фактори, како што се времетраење на консумацијата, доза, возраст и животни навики. Сепак, витаминските додатоци на исхраната се категоризираат како прехранбени производи, а не како лекови и затоа FDA не вклучува посебни регулативи за нивната биодостапност или безбедност. Од друга страна пак, витамините како додатоци во исхраната кои долгорочно се консумираат за лечење на малигни болести треба да подлежат на регулативи за докажување на нивниот квалитет и безбедноста. Во овие случаи треба да се применуваат строги стандарди за витаминските додатоци на исхраната како и за лековите. Сепак, стандардите за квалитет ги задоволуваат само некои светски компании за производство на витамини.

Нутритивните и здравствените тврдења во Европската Унија се регулирани со Уредбата 1924/2006 која стапила на сила во 2007 година. Според ова Уредба е дозволено за храната во сите земји на Европска унија да се користат здравствени тврдења. Главната причина за донесување на оваа Уредба е заштита на здравјето на населението. Пред донесувањето на Уредбата, земјите од Европската Унија имале нееднаков пристап кон начинот на означување на додатоците на исхрана во однос на нивните нутритивни и здравствени

тврдења. **Тврдењето** претставува намена која е наведена на декларацијата на производот и укажува на неговите нутритивни или здравствени својства на таков начин што ублажува, подобрува, регулира или олеснува одредена состојба во организмот. **Нутритивно тврдење** е секое тврдење со кое се тврди, сугерира или имплицира дека прехранбениот производ има одредени корисни нутритивни својства. **Здравствено тврдење** е секое тврдење со кое се тврди, сугерира или имплицира дека прехранбениот производ или некои негови составни компоненти влијаат врз здравјето на луѓето. Целта на Уредбата е да се балансираат нутритивните и здравствени тврдења кои се наведени на декларацијата на храната и додатоците на исхрана на пазарот во Европска унија. Според Уредбата, нутритивните или здравствените тврдења на додатоците на исхраната се базираат на научни сознанија.

Одобрувањето на нутритивните или здравствените тврдења на храната се одвива на следниот начин:

- производителот на храната или додатоци на исхраната поднесува барање за додавање на здравственото тврдење до Европска агенција за безбедност на храна (EFSA),
- EFSA врз основа на приложените докази кои треба да бидат силно научно поткрепени одлучува дали се одобрува здравственото тврдење за производот.

Здравственото тврдење треба да биде вистинито, јасно и реално. Така на пр., во Уредбата се наведени неколку здравствени тврдења кои можат да се однесуваат на додатоците на исхраната, како што се раст, развој и функционирање на телото, психолошко функционирање и однесување, како и редукција на телесната маса. Иако EFSA има одобрено голем број на здравствени тврдења за различни производи, сè уште е поголем бројот на тврдења кои се одбиени. Главна причина за одбивање на здравствените тврдења е користењето на тврдења од страна на производителите кои не можат да бидат научно потврдени или се делумно точни, како на пр., „намалување на стрес“ или „прочистување на организмот“. Во Република Северна Македонија, додатоците на исхраната се регулирани со Законот за безбедност на храната.

3. ФУНКЦИОНАЛНА ХРАНА И ФОРТИФИКАЦИЈА (ЗБОГАТУВАЊЕ) НА ХРАНА

3.1 Функционална храна

Функционалната храна содржи компоненти кои покажуваат позитивно дејство врз една или повеќе функции во организмот, при што ја подобрува општата здравствена состојба на организмот или влијае врз намалувањето на ризикот од појава на болести. Основната примена на функционалната храна се базира на присуството на биолошки активни соединенија во производи од растително и животинско потекло кои влијаат врз подобрувањето на здравјето кај луѓето. Научните студии покажуваат дека правилната исхрана и соодветниот внес на хранливи соединенија можат значајно да го подобрат здравствениот статус на организмот и да го заштитат од различни болести, како хипергликемија, хиперлипидемија, хипертензија, остеопороза, алергија, дебелина, канцерогенеза и други патолошки состојби. Според тоа, функционалната храна има карактеристики на храна, додатоци на исхрана, помошни лековити средства и лекови. Главната примена на функционалната храна не е да се намали гладот или да се обезбедат есенцијалните хранливи компоненти во исхраната на хуманата популација, туку да се подобри физичката и психичката состојба на човекот. Во секојдневната исхрана се присутни голем број соединенија кои можат да бидат составен дел на функционалната храна.

Во функционална храна се вбројуваат прехранбени производи кои влијаат врз поединечните функции на организмот бидејќи содржат некои од следните биолошки активни компоненти:

- Пробиотици на стартер култури (*Lactobacillus*, *Bifidobacterium*),
- Пребиотици (олигосахариди, фуктоглукани),
- Антиоксиданси (флавоноиди, пигменти, β -каротен, ликопен, витамини, минерали),
- ω -3 Масни киселини,
- Растителни стероли.

Постојат голем број природни производи од растително потекло кои се користат како функционална храна. Така на пр., различни **овошја** и **зеленчук** (морков, спанаќ, пченка, домати и лубеница) се функционална храна бидејќи содржат висока концентрација на каротеноиди. Зеленчукот и овошјето претставуваат богат извор на витамини, растворливи влакна и други соединенија со антиоксидантно дејство. Исто така, овошјето и зеленчукот се природен извор на фолна киселина која има значајно влијание врз намалување на оштетувањата на нервниот систем кај новороденчиња. Редовното консумирање на зеленчук од фамилијата зелки (брокула, кел, карфиол) го намалува ризикот од појавата на канцерогени заболувања поради високата содржина на глукозинолати. Доматот е зеленчук кој во последните години стана доста популарен зеленчук поради високата содржина на каротеноиди, особено ликопен кој го намалува ризикот од појава на канцер на простатата, дигестивниот тракт, грлото на матката и градите. На сличен начин, честото консумирање на агруми (портокал, лимон, лимета и цитрон) го намалува ризикот од појава на канцерогени процеси во организмот поради присуството на витамин С, фолна киселина, растителни влакна, како и лимониди кои претставуваат ефикасни антиканцерогени соединенија.

Табела 3.1. Биолошки активни компоненти во функционална храна.

Функционална храна	Биолошки активни компоненти	Физиолошки функции
Овошје: - Сочни плодови, - Костенливо овошје, - Јаткасто овошје, - Бобинкасто овошје (боровница, брусница), - Јужно овошје (цитруси, манго, авокадо), - Јагодесто овошје (малини, јагоди).	- Липиди, - Липосолубилни витамини, - Протеини, - Флавоноиди, - Витамин С и фолати, - Растителни влакна, - Лимоноиди.	Намалување на ризик од појава на канцер
Зеленчук: - Лиснат зеленчук (спанаќ, зелка), - Плодест зеленчук (домат), - Луковичест зеленчук (лук), - Коренест зеленчук (морков, пашканат), - Кртолест зеленчук (компир).	- Магнезиум, - Флавоноиди, - Ликопен, - Соединенија со сулфур (алицин), - Каротеноиди.	- Позитивно влијание врз расположение, - Антибиотско дејство, - Намалување на хипертензија, - Намалување на содржина на холестерол во крв.
Маслодајни култури: - Соја, - Семе од лен и сусам, - Тиква и семки, - Сончоглед и масло, - Црн ким и масло, - Маслинки и масло.	- Изофлавоноиди, - Инхибитори на дигестивни ензими, - Фитостероли, - Кукурбитацин, - Полинезаситени масни киселини, - α -Линоленска киселина.	- Намалување на содржина на холестерол во крв, - Терапија за болести на простата, - Намалување на ризик од појава на гастритис и чир на желудник.
Скроб и пчелини производи: - Резистентен скроб, - Матична млеч, прополис, полен.	- Растителни влакна, - Терпени и дитерпени.	Подобрување на перисталтика на црева
Зачини и ароматични растенија: - Зелен чај, - Црн чај.	- Катехини, - Каротеноиди и токофероли, - Монотерпени, - Витамин С	- Антимутагено дејство, - Антибактериско дејство, - Антифламаторно дејство, - Стимулативен ефект на нервен систем.

Млеко: - Јогурт, - Сурутка, - Пробиотици, - Колострум.	- Незаситени масни киселини, - Лактоза, - Калциум, - Пробиотици, - Компоненти во сурутка.	- Подобрување на функција на црева, - Оптимален баланс на цревна флора, - Подобрување на перисталтика, - Зајакнување на имун систем.
Јајца	- Лизозим - Фосфолипиди, - Овоглобулини и овомуцин.	- Зајакнување на имун систем, - Кардиопротективно дејство.
Житарици и интегрални производи	- Растителни влакна, - β -D-глюкани, - Витамини и минерали.	Подобра перисталтика
Месо: - Крупен добиток, - Ситен добиток, - Живина, - Зајаци и дивеч, - Риби и морски алги.	- Витамин А, - Железо, - Холестерол, - Аминокиселини (триптофан), - Карнитин, - Заситени масни киселини.	- Подобрување на телесна форма, - Зајакнување на имунолошки систем.
Маргарини	- Фитостероли, - Естри на стероли.	- Намалување на содржина на LDL холестерол - Намалување на ризик од коронарни болести

Јаткастите плодови содржат мононезаситени масни киселини. Лецитинот е природно соединение со липидна структура кое се наоѓа во сојата и влијае врз намалувањето на концентрацијата на холестерол. Исто така, семето од соја е богат извор на изофлавоноиди кои имаат поволно дејство врз здравјето на жените за време на климактериумот, спречуваат развојот на атеросклероза и го зајакнуваат срцевиот мускул. Семето од лен содржи лигнани кои имаат антиканцерогено дејство и спречуваат развојот на тумори кои се предизвикани од хормонот естроген. Консумацијата на храна богата со ω -6 масни киселини (пченкарни ркулци и соино масло) и рибиното масло кое содржи ω -3 полинезаситени масни киселини ги стимулира имунолошките реакции во организмот. Ферментираниите млечни производи како јогурт и кефир се карактеристични претставници на функционалната храна од групата на млечни производи. Маслиновото масло има карактеристичен хемиски состав и дејствува превентивно кај болестите на срце и кардиоваскуларниот систем. Исто така, маслиновото масло го намалува ризикот од појава на гастритис и чир на желудник, а може да има позитивно влијание врз растот и развојот на децата.

Функционалната храна може да содржи различни витамини и минерали кои го подобруваат здравствениот статус на организмот. Витаминот К е присутен во јогурт, рибино и соино масло, како и во морски алги кои содржат и други витамини (рибофлавин и ниацин) и минерали (калциум, натриум, хлор, калиум, железо, фосфор, јод, магнезиум, сулфур, бакар, манган и цинк). Кај индивидуи кои имаат недостаток на витамините тиамин, рибофлавин, фолна киселина, витамин С и пантотенска киселина се препорачува диета која содржи домати, морков, млеко, ферментирани млечни производи, риба, сирење, јајца и свеж лиснат зеленчук (блитва, спанаќ). Недостатокот на ретинол и комплексот на витамините од групата В може да се надополни преку консумирање на жолчка од јајце, путер, пивски квасец и интегрални житарици. Цинкот се препорачува кај индивидуи во период на адолесценција, а богат извор на овој минерал се пченични трици и никулци, интегрални житарици, млеко, јајца, месо и различен зеленчук. Магнезиумот е застапен во големо количество кај зеленолиснат зеленчук, житарици, риби, ракови, школки, јаткасти плодови (ореви, бадеми, лешници) и овие производи можат да се користат при замор на организмот. Морските риби како скуша, туна и лосос се карактеристичен пример за функционална храна која е богата со ω -3 масни киселини. Овесот е особено значајна житарица која може да се користи како функционална храна бидејќи ја намалува содржината на LDL холестерол и глукозата во крв, а може да влијае и врз зајакнување на мускулната маса кај возрасните индивидуи. Исто така, овесот е идеална компонента во храната за намалување на ризикот од коронарни заболувања.

При крварење од нос поради недостаток на витамин К или витамин С се препорачува често консумирање на агруми (портокали, мандарини, лимони), јогурт и кисело млеко, соино и рибино масло, компир, свежо овошје и зеленчук, особено свежа пиперка и плод од шипка (*Rosa canina*) која е богата со витамин С. Холинот е важен биоген амин кој е составен дел на невротрансмитерот ацетилхолин, а во природата е застапен во пченица, млеко и овошје. Познато е дека консумацијата на холин спречува појава на стеатоза на црниот дроб.

Пробиотици, пребиотици и симбиотици претставуваат често користени додатоци на исхраната кои се достапни во различни фармацевтски форми.

Живите култури од бактерии доаѓаат во облик на прав, паста и течност, а најчесто се пакуваат во капсули. Во цревата на здрава индивидуа живеат најмалку 300 вида на микроорганизми, а односот на непатогени и потенцијално патогени бактерии е околу 85:15. Нарушувањето на оваа рамнотежа на бактериската флора може да предизвика појава на различни заболувања. Живите бактерии од *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium bifidum*

и *Streptococcus termophilus* кои се присутни во нормалната цревна флора се нарекуваат **пробиотици**. Овие пробиотици ослободуваат млечна и оцетна киселина и ја закиселуваат средината во цревата и на таков начин го спречуваат растот на останатите бактерии. Оваа рамнотежа во бактериската флора зависи од голем број фактори, како што се промени во начинот на исхрана, прекумерна употреба на антибиотици, како и различни стресни состојби во организмот. Истражувањата покажуваат дека консумирањето на живи култури од микроорганизми во форма на суплементи го спречуваат растот на патогени микроорганизми, го зајакнуваат имунитетот и ја намалуваат содржината на холестерол во крвта. Важно е да се напомене дека пробиотиците како култури од живи бактерии треба да се чуваат во фрижидер. Пробиотиците се карактеризираат со бројни особини кои овозможуваат нивно активно дејство во организмот. Во тој контекст, пробиотиците се резистентни на дејството на киселините и жолчката во дигестивниот систем, при што во непроменета форма доаѓаат до тенкото црево. Исто така, пробиотиците ефикасно се врзуваат за цревните епителни клетки и спречуваат врзување на патогени бактерии и други споредни производи. Особено важна особина на пробиотиците е тоа што не го менуваат вкусот и мирисот на прехранбените производи во кои се додадаваат како суплементи.

Пребиотиците се компоненти од храната кои стимулираат раст и активност на некои од цревните бактерии (пробиотици). Во групата на пребиотици се вбројуваат **скроб, растителни влакна и олигосахариди (инулин, олигофруктоза)**. Пребиотиците се компоненти кои не се дигестираат во цревниот тракт, а можат позитивно да влијаат врз растот на селектирани видови на бактерии во дебелото црево. Инулинот се добива со водена екстракција од корен на чичока (*Helianthus tuberosus*), а олигосахаридите се добиваат со хидролиза на инулинот. На пазарот се достапни готови препарати од инулин и олигосахариди кои се познати под разни трговски марки. Инулинот и олигофруктозата не се хидролизирани под дејство на ензимите од горниот дел на гастроинтестиналниот тракт, односно не се апсорбираат и во непроменета форма преминуваат во дебелото црево (колон). Овие пребиотици во дебелото црево служат како подлога за оптимален раст на специфични бактериски соеви (*Bifobacterium* sp.), поради што се нарекуваат „**бифидогени**“. Зголемувањето на популацијата на бифидогените бактерии во дебелото црево кои ја менуваат рН вредноста во средината го спречува растот на потенцијално патогените бактерии (*Clostridium* sp.) и може да има поволно дејство при цревни инфекции. Исто така, олигофруктозата и инулинот ја намалуваат калоричната вредност на производите, а можат и да ја стимулираат апсорпцијата на некои минерали (калциум, магнезиум, железо). Инулинот како пребиотик има способност да бабри во вода, при што се јавува чувство на ситост и можат да се користат за намалување на прекумерна телесна маса.

Комбинацијата на пробиотик и пребиотик се користи за добивање на **симбиотик**. Во пракса, симбиотиците се консумираат преку комбинирање на млечно кисели бактерии и соединенија (инулин, олигофруктоза) за стимулирање на растот на цревната микрофлора.

3.2 Фортификација (збогатување) на храна

Додавањето на нутритивни соединенија во храната за прв пат се споменува уште пред нашата ера и оваа пракса била користена за зголемување на физичките способности кај војниците преку додавање на железо во виното за пиење. Подоцна, редовна пракса во прехранбената индустрија станало додавањето на јод во готварската сол за спречување на гушавост (недостаток на јод). Помеѓу двете светски војни, во преработените прехранбени

производи се додавале различни нутритивни компоненти со цел да се надополнат изгубените хранливи соединенија во текот на преработката. Суплементацијата на храната опфаќала додавање на витамин А и D во маргарин, витамин D во млеко, како и витамините B1 и B2, ниацин и железо во брашното и лебот.

Фортификацијата или збогатување на храната опфаќа додавање на нутриенти во хранливите производи во еквивалентна количина како и во природниот извор на храната пред нејзина преработка. Исто така, фортификацијата на храната е збогатување со нутриенти во количини кои не се соодветни или адекватни за нивниот природен извор. Карактеристичен пример за фортификација на прехранбени производи е додавање на витамин C во сок од портокал со цел да се стандардизира содржината на витаминот C во производите. Фортификацијата со нутриенти може да се врши и кај хранливите производи наменети за вегетаријанци, трудници, постари индивидуи и новороденчиња. Додавањето на нутриенти во основната храна може да го зголеми внесот на одредени хранливи соединенија на ниво на цела популација. Во почетокот на минатиот век, збогатувањето на храната со различни соединенија овозможило искоренување на неколку заболувања кои се поврзани со дефицит на витамини и минерали во исхраната, како што се гушавост (јод), рахитис (витамин D3), бери-бери (витамин B1) и пелагра (витамин B3).

Од хронолошки аспект, фортификацијата на храната започнала интензивно да се користи во прехранбената индустрија во минатиот век. Така на пр., во 1920 година започнало збогатувањето на готварската сол со јод, во 1930 година млекото било фортифицирано со витамин D, во 1940 година брашното и лебот биле збогатени со витамини од групата B, а од почетокот на 80-тите години започнува да се додава калциумот во различни прехранбени производи.

Прехранбените производи биле фортифицирани со различни витамини, минерали, антиоксиданти, протеини и растителни биоактивни метаболити со цел да се зголеми нивната нутритивна и здравствена вредност (Таб. 3.2).

Табела 3.2 Примена на различни соединенија за фортификација (збогатување) на храна.

Храна	Соединенија
Сол	Јод, железо и флуор
Брашно, леб и ориз	Витамин B1 и B2, ниацин и железо
Млеко и маргарин	Витамин А и D
Шеќер, натриум глутамат, чај	Витамин А
Храна за бебиња, колачи	Железо
Растителни мешавини на аминокиселини и протеини	Витамини и минерали
Соино млеко и сок од портокал	Калциум
Житарици за бебиња	Витамини и минерали
Диететски пијалоци	Витамини и минерали
Ентерални и парентерални раствори	Витамини и минерали

Фортификацијата на храната има големо значење кај различни индивидуи кои поради социолошки, културолошки или медицински причини ги исфрлиле некои од производите во секојдневната исхрана. Во некои случаи, производите се збогатуваат со нутриенти кои се губат за време на нивната преработка или производство. Така на пр., витамин B се додава во

бело брашно за да се постигне природната доза која се содржи во житариците од кои е произведено брашното. Исто така, железото се додава во брашното поради тоа што овој елемент е присутен во ниска концентрација во житариците. Кај некои производи се додаваат нутриенти кои природно не се присутни во нив, како на пр., додавање на ω -3 масни киселини во јајца или калциум во сок од портокал.

При индустриска фортификација на храната треба да се исполнат два главни критериуми: храната која се збогатува да има широка употреба и да биде достапна за целата популација. Житариците се најпопуларни хранливи производи кои подлежат на фортификација поради нивната широка застапеност и универзална консумација кај хуманата популација. Фортификацијата на брашното и лебот со витамините од групата В (рибофлавин, ниацин, тиамин) како вообичаена пракса во прехранбената индустрија има големо значење во намалување на инциденцата на заболувања кои се предизвикани од дефицит на В-витамините, како и анемија предизвикана од дефицит на железо. Фолната киселина претставува уште еден пример од групата на В витамини која не се внесува во организмот во дневно препорачаните дози. За да се задоволат овие дневни потреби во исхраната, производите од житарици се збогатуваат со фолна киселина. Според препораките на FDA, збогатувањето на 100 g пченични снегулки се врши со додавање на 140 μ g фолна киселина. Според некои клинички студии, фолната киселина од збогатените производи од житарици има повисок степен на апсорпција во споредба со фолната киселина од природните извори (овошје и зеленчук). Исто така, истражувањата покажуваат дека суплементација на хранливите производи со фолна киселина ги намалува оштетувањата на нервниот систем кај новороденчиња за 48-80%. Во последните неколку години, производите од житарици (снегулки, леб, производи од тесто, вафли) се збогатуваат со калциум поради хроничниот низок внес на калциум кај жените и адолесцентите кои консумираат мала количина на млечните производи. Исто така, калциумот во комбинација со витаминот D се додава во јогуртот, млекото и овошните сокови за да се намали ризикот од појава на остеопороза.

Производите кои се наменети за одржување на здравјето на кардиоваскуларниот систем најчесто содржат додаток на ω -3 масни киселини, растителни биоактивни метаболити и фитостероли поради нивното влијание врз намалување на содржината на холестерол во крвта. Особено значење во исхраната имаат антиоксидантите кои имаат функција во заштита на клетките од дејството на реактивните кислородни радикали врз оксидативно оштетување на клеточните молекули. Најзначајни антиоксиданти кои се користат за збогатување на хранливите производи се: витамин Е, витамин С, минерали (цинк и селен), витамин А (β -каротен) и различни групи на феноли (флавоноиди).

3.3 Диететски производи

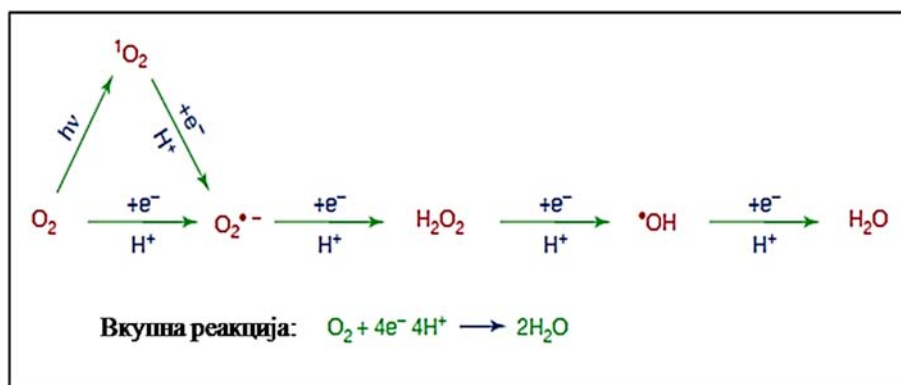
Диететските производи се производи наменети за посебни прехранбени потреби кои поради својот посебен состав или процес на производство се разликуваат од производите со вообичаен состав. Всушност, диететските производи се наменети за исхрана на здрави новороденчиња и мали деца, индивидуи со нарушена дигестија или метаболизам, како и за индивидуи со посебни физиолошки состојби. Овие производи треба да ги задоволат законските норми за здравствена исправност на производите. Исто така, декларацијата на овие производи треба да ги содржи нутритивните или здравствените тврдења.

4. РЕАКТИВНИ КИСЛОРОДНИ РАДИКАЛИ И РАСТИТЕЛНИ АНТИОКСИДАНТИ

4.1 Реактивни кислородни радикали

Молекуларниот кислород претставува слободен радикал бидејќи поседува 2 неспарени електрони во своите атомски орбитали. Сепак, двата неспарени електрони на O_2 поседуваат паралелен спински квантен број, што го прават молекулот на O_2 нереактивен и затоа не учествува во реакции со стабилни органски соединенија. Ова е најстабилна или т.н. основна состојба на O_2 и ја претставува формата која постои во атмосферата. Всушност, основната состојба на O_2 , уште позната како **триплет состојба (3O_2)** е релативно нереактивна. Сепак, O_2 е термодинамички потентен оксидирачки агенс. Ако O_2 изврши оксидација на нерадикален молекул преку примање на пар електрони од него, тогаш двата електрони мора да имаат паралелен спин со цел да се вклопат во празните простори во π орбиталите. Меѓутоа, пар на електрони не можат да се вклопат во непополнетите атомски орбитали бидејќи тие секогаш имаат спротивни спинови ($+\frac{1}{2}$ и $-\frac{1}{2}$). Затоа, оваа појава означена како „**спин рестрикција**“ најдобро објаснува зошто O_2 е подложен на сукцесивно примање на електрони (еден по еден) и тоа што O_2 не реагира спонтано со повеќето нерадикални молекули. Сукцесивното примање на електрони од страна на молекулот на O_2 може да резултира со нецелосна редукција и формирање на **реактивни кислородни радикали (Reactive Oxygen Species-ROS)**. Од друга страна пак, O_2 реагира исклучително брзо со други радикали преку пренесување на еден електрон. За среќа, повеќето молекули во живите организми се нерадикални молекули, односно не поседуваат неспарени електрони во своите орбитали. Иако, атмосферскиот O_2 е релативно нереактивен, неговата активација овозможува формирање на ROS.

Активацијата на O_2 може да се одвива преку 2 различни механизми: **апсорпција на доволно количество на енергија** и **сукцесивна едновалентна редукција** (Сл. 4.1). При првиот механизам настанува менување на спинот на едниот неспарен електрон од O_2 , при што се формира т.н. **синглетен кислород (1O_2)**. При вториот механизам, активацијата на O_2 се одвива преку негова сукцесивна редукција до различни кислородни радикали.



Слика 4.1 Реакции на активација на O_2 и формирање на реактивни кислородни радикали.

Според досегашните научни истражувања, O_2 учествува во формирање на ROS при физиолошки услови на развој, како и при различни стрес состојби на растителните клетки. При постоење на различни форми на абиотички или биотички стрес фактори настанува

прекумерна акумулација на ROS. Во групата на абиотички стрес фактори кои индуцираат неконтролирана продукција на ROS се вбројуваат: висок интензитет на светлина, UV-B зрачење, воден дефицит, температурни екстреми, дефицит на хранливи материи, присуство на полутанти во воздухот (озон, сулфур диоксид), хербициди и фитотоксични метали (Zn, Cu, Cd). Исто така, растенијата продуцираат ROS при појава на биотички стрес, односно при инфекција со патогени организми. Во услови на стрес, степенот на продукција на ROS го надминува капацитетот на растителната клетка за неутрализација на активираните форми на O_2 . Според тоа, условите кои ја нарушуваат редокс хомеостазата на клетката можат да индуцираат појава на **оксидативен стрес** кај растенијата. При постоење на оксидативен стрес, редокс состојбата на клетката се променува во насока на прооксидантите кои индуцираат акумулација на ROS. Оваа состојба на клетката се карактеризира со континуирана продукција и акумулација на ROS, што може да резултира со дезинтеграција на клеточните мембрански системи, метаболички нарушувања, како и оштетувања на геномот. Затоа, неопходно е клетките да поседуваат ефикасен антиоксидантен одбранбен систем за неутрализација на радикалните форми кои се продуцираат при активација на кислородот.

Слободен радикал е молекул способен за независно постоење и поседува еден или повеќе неспарени електрони во атомските орбитали. Присуството на неспарен електрон во орбиталата ја зголемува реактивноста на молекулот, бидејќи поединечниот електрон има потреба од уште еден електрон за да се стабилизира радикалот. Дополнителниот електрон може да се добие преку издвојување на електрон од одреден ко-реактант. Оваа реакција резултира со неутрализација на радикалот преку негова редукција (адисија на електрон) и формирање на нов радикал преку оксидација (губење на електрон) на ко-реактантот. Во живите организми егзистираат голем број радикали, иако повеќето биомолекули претставуваат нерадикални соединенија.

Кај растенијата постојат голем број слободни радикали, од кои особено внимание се посветува на **реактивните кислородни радикали (ROS)**, во споредба со **реактивните азотни радикали** (Reactive Nitrogen Species-RNS). Всушност, ROS се група на слободни радикали, односно реактивни молекули или јони кои потекнуваат од O_2 . Во групата на ROS се вбројуваат (**Таб. 4.1**): **синглетен кислород (1O_2)**, **супероксиден анјонски радикал ($O_2^{\cdot-}$)**, **водород пероксид (H_2O_2)** и **хидроксилен радикал ($OH^{\cdot}$)**.

Табела 4.1 Основни карактеристики на реактивни кислородни радикали (ROS).*

ROS	Полуживот	Миграција	Ендогена концентрација	ДНК	Протеини	Липиди
Супероксиден радикал ($O_2^{\cdot-}$)	1-4 μs	30 nm	?	/	Fe-S центри	Умерено
Водород пероксид (H_2O_2)	1 ms	1 μm	μM -mM	/	Cys	Умерено
Хидроксилен радикал ($OH^{\cdot}$)	1 μs	1 nm	?	Интензивно	Интензивно	Интензивно
Синглетен кислород (1O_2)	1-4 μs	30 nm	?	Гванин	Trp, His, Tyr, Met, Cys	PUFA

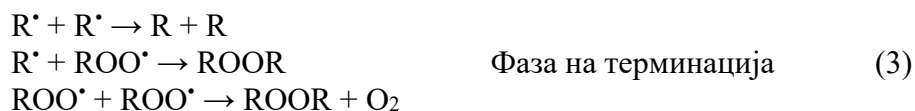
* Trp-Триптофан, His-Хистидин, Tyr-тирозин, Met-Метионин, Cys-Цистеин, PUFA-Полинезаситени масни киселини.

Истражувањата покажуваат дека околу 1-2% од конзумираниот O₂ од страна на растенијата се пренасочува за продукција на ROS во различни клеточни компартмани. Формирањето на ROS од O₂ може да се одвива преку трансфер на енергија или преку реакции на трансфер на електрони. Зависно од концентрацијата, ROS можат да имаат токсични или корисни ефекти кај растенијата. Релативно високата концентрација на ROS предизвикува оштетување на биомолекулите, додека пак, при ниска концентрација, овие реактивни форми имаат функција на секундарни сигнални молекули во интрацелуларни каскадни реакции во голем број одговори на растителната клетка.

4.2 Клеточни оштетувања предизвикани од реактивни кислородни радикали

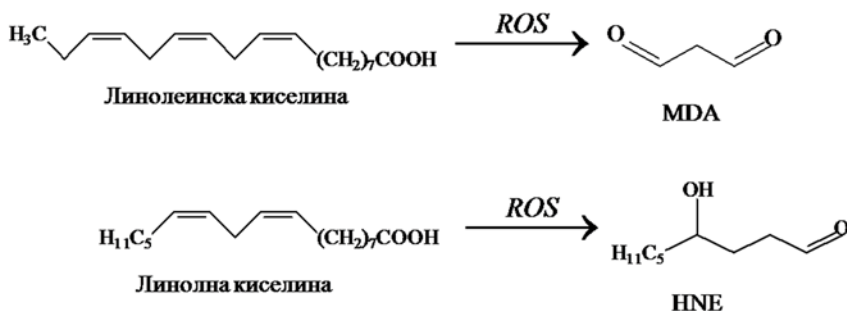
4.2.1 Липидна пероксидација (LP)

Оштетувањата на мембранските системи кај живите организми се користат како значаен параметар за одредување на интензитетот на липидно оштетување при различни стрес фактори. При индуцирана пероксидација на липидите се формираат кратки јаглеродородни фрагменти од полинезаситените масни киселини (PUFA) присутни во мембранските системи. Овие производи на LP имаат способност да реагираат со тиобарбитурната киселина (ТВА) и на таков начин се формираат ТВА-реактивни соединенија. Процесот на LP во клеточната мембрана и другите мембрански системи на органелите се одвива во услови на зголемена концентрацијата на ROS. Притоа, индуцираната продукција на ROS резултира со нарушување на нормалното функционирање на клетката и појава на оксидативен стрес, кој се манифестира со интензивирана продукција на липидни радикали. Процесот на липидна пероксидација се одвива во три фази: иницијација, прогресија (пропагација) и терминација (реакц. бр. 1, 2, 3). Фазата на иницијација (реакц. бр. 1) на LP опфаќа дејствување на O₂^{•-} и H₂O₂, како и високо реактивните OH[•] преку издвојување на H-атом од остаток на полинезаситените масни киселини (RH) и формирање на липиден алкил радикал (R[•]). Во фазата на пропагација (реакц. бр. 2) настанува додавање на O₂ на R[•], при што се формира липиден пероксил радикал (ROO[•]). Формираниот ROO[•] може да пропагира синцирна реакција на пероксидација преку извлекување на H-атом од соседните странични синцири на PUFA и формирање на липидни хидропероксиди (ROOH). Добиените ROOH лесно можат да се разложат во неколку реактивни радикали: липидни алкоксилни радикали, алехиди, алкани, липидни епоксиди и алкохоли.



Алдехидните деривати 4-хидрокси-2-ноненал (HNE) и малонилдиалдехидот (MDA) претставуваат доминантни реактивни радикали кои се формираат како резултат на

пероксидацијата на PUFA (Сл. 4.2). Според тоа, единечен процес на иницијација поседува потенцијал за формирање на голем број пероксидни молекули преку одвивање на синцирни реакции во фазата на пропација. Пероксидацијата на липиди е автокаталитички процес кој може да се терминира со рекомбинација на две радикални соединенија, при што се добива нерадикално соединение (реакц. бр. 3).

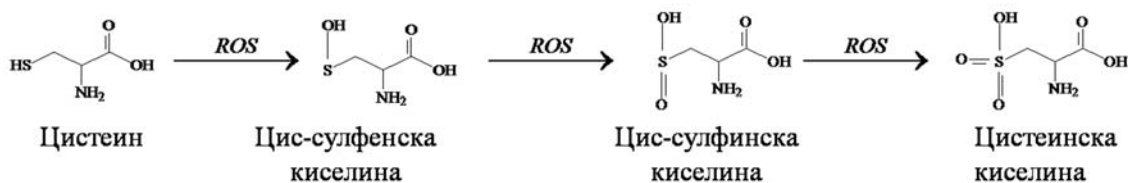


Слика 4.2 Оксидација на полинезаситени масни киселини. MDA: малонилдиалдехид, HNE: 4-хидрокси-2-ноненал.

Крајниот ефект од LP е намалена мембранска флуидност, лесна размена на фосфолипидите помеѓу двете половини на мембранскиот двослој, зголемување на пермеабилноста за одредени соединенија кои во физиолошки услови не преминуваат низ мембранските системи, оштетување на мембранските протеини, како и инактивирање на голем број мембрански рецептори, ензими и јонски канали.

4.2.2 Оксидација на протеини

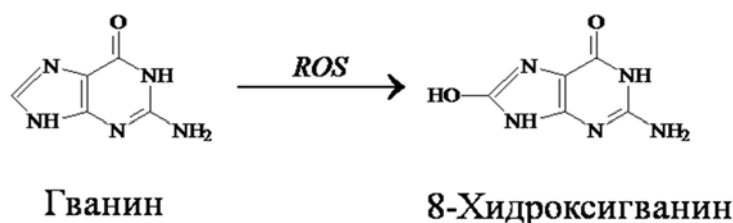
Оксидацијата на протеини се дефинира како ковалентна модификација на протеините, процес индуциран под дејство на ROS или споредни производи на оксидативниот стрес. Оксидацијата на протеините најчесто е ирверзибилен процес, освен некои аминокиселини со сулфур кои подлежат на реверзибилни модификации. Оксидацијата на голем број протеински аминокиселини (Arg, His, Lys, Pro, Thr и Trp) резултира со формирање на карбонилни групи, кои можат да ја инхибираат или нарушат нивната активност. Всушност, карбонилацијата на протеините е широко користен маркер за степенот на оксидација на протеините. Протеинската карбонилација се јавува поради директна оксидација на страничните синцири на аминокиселините. Сепак, независно од местото на продукцијата и дејствување, ROS најчесто ги напаѓаат протеините кои содржат аминокиселини со сулфур (Сл. 4.3). Така на пр., Cys и Met се релативно подложни на дејството на 1O_2 и $HO^\bullet$.



Слика 4.3 Оксидација на цистеин.

4.2.3 Оштетување на ДНК

Оштетување на растителниот геном се јавува при експонирање на клетките на различни абиотички и биотички стрес фактори, кои можат да предизвикаат оштетување на ДНК и да пројават генотоксичен ефект. Од друга страна пак, ендеогеното оштетување на ДНК, уште познато како спонтано ДНК оштетување се јавува како резултат на дејството на ROS ($\text{HO}^\bullet$, $\text{O}_2^{\bullet-}$ и $\text{NO}^\bullet$). Всушност, високата концентрација на ROS може да предизвика оштетување на клеточните структури, липидите, протеините и нуклеинските киселини. Истражувањата покажуваат дека $\text{HO}^\bullet$ е екстремно реактивен радикал и предизвикува оштетување на сите компоненти на ДНК, вклучувајќи пурински и пиримидински бази, како и деоксирибоза. Притоа, $^1\text{O}_2$ примарно врши оксидација на гванинот (Сл. 4.4), додека пак, $\text{O}_2^{\bullet-}$ и H_2O_2 не реагираат со ДНК (Таб. 4.1).



Слика 4.4 Оксидација на гванин.

Исто така, ROS индуцираат бројни оштетувања на ДНК молекулите, вклучувајќи делеција на бази, формирање на пиримидински димери, вкрстено поврзување на базите, прекини на синцирот, како и модификација на базите. Оштетувањата на ДНК под дејство на ROS можат да предизвикаат различни физиолошки пореметувања: грешки при репликација, инхибирање на транскрипција и транслација на протеини, оштетување на фотосинтетските протеини, деструкција на клеточната мембрана, како и геномска нестабилност. Сепак, голем број на механизми за репарација на ДНК оштетувањата се достапни во јадрото и митохондриите, како што се замена на базите или замена на цел нуклеотид.

4.3 Растителни антиоксиданти

Антиоксидантите се дефинираат како соединенија кои имаат способност за пролонгирање или инхибирање на оксидациските процеси во клетката преку неутрализација на реактивните кислородни радикали (Reactive oxygen species-ROS). Според оваа дефиниција, сите редуирачки соединенија немаат функција на антиоксиданти, туку овој критериум го исполнуваат само соединенијата кои имаат способност за заштита на биолошкото целно место од процеси на оксидација.

Механизмите на дејство на антиоксидантните соединенија опфаќаат:

- физичка бариера за да се спречи продукцијата на ROS или достапноста на ROS до важни биолошки структури,
- неензимски соединенија кои учествуваат во неутрализација на ROS преку апсорбирање на енергија или донирање на H-атоми или електрони,
- ензимски системи за неутрализација на ROS (антиоксидантни ензими),
- хелатирање/инактивирање на метални јони со цел да се спречи продукцијата на ROS.

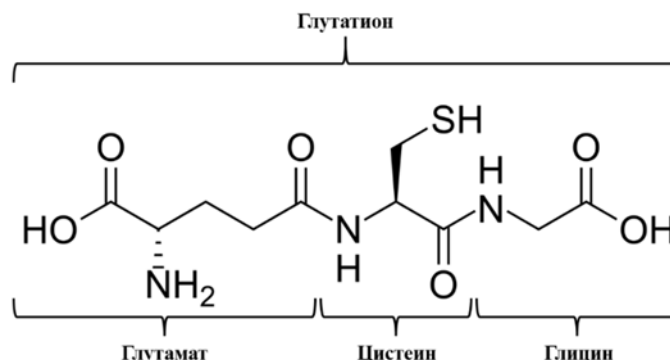
4.3.1 Неензимски антиоксидантни соединенија

Неензимските антиоксиданти претставуваат хетерогена група на соединенија и опфаќаат голем број витамини, секундарни метаболити, тиолни соединенија и други растителни метаболити кои учествуваат во заштитата против токсичните ефекти на ROS. Неензимскиот антиоксидантен одбранбен систем кај растенијата е претставен со:

- глутатион (GSH),
- аскорбинска киселина (AA) или витамин C,
- токофероли (TOC) или витамин E,
- каротеноиди (CAR) или витамин A,
- фенолни соединенија.

Неензимските антиоксиданти учествуваат во неутрализација на ROS преку стапување во хемиска интеракција (scavengers) или физичка деактивација (quenchers).

Глутатионот (GSH) претставува нискомолекуларен непротеински тиол составен од три аминокиселини (γ -глутамилцистеинилглицин), (Сл. 4.5). Овој антиоксидант е локализиран во сите компартмани на растителната клетка: цитоплазма, ендоплазматичен ретикулум, вакуоли, митохондрии, хлоропласти, пероксизоми и апопласт. Биосинтезата и акумулацијата на GSH кај растенијата се интензивира во услови на стрес, при што GSH функционира како антиоксидант. Антиоксидантната функција на GSH е проследена со оксидација на Cys-тиолната група и поврзување на две молекули на GSH со дисулфидна врска, што резултира со формирање на глутатион дисулфид (GSSG). Во оптимални услови, GSSG ефикасно се редуцира до GSH со посредство на ензимот глутатион редуктаза (GR) и NADPH. Во растителните ткива доминира (90-99%) редуцираната форма на глутатион (GSH), во споредба со оксидираната форма (GSSG). Високата вредност на односот GSH/GSSG постојано се одржува како резултат на зголемена активност на ензимот GR, зголемена биосинтеза на GSH или намалена деградација на GSH. Во екстремни услови на стрес, степенот на оксидација на GSH го надминува интензитетот на редукција на GSSG, што резултира со намалување на односот GSH/GSSG и оваа состојба претставува сигнал за интензивирање на акумулацијата на GSH.



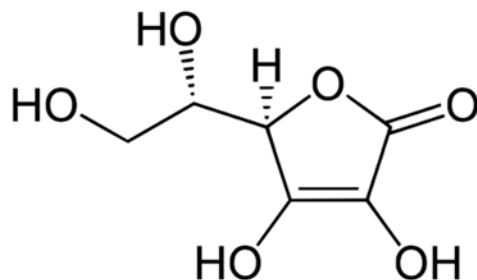
Слика 4.5 Структурна формула на глутатион.

Физиолошката функција на GSH во растителните клетки опфаќа детоксификација на тешки метали и ксенобиотици и одбрана во услови на оксидативен стрес. Полимеризацијата

на GSH овозможува формирање на фитохелатини, кои имаат особено значење во контролирање на концентрацијата на тешки метали во клетката. Всушност, фитохелатините имаат висок афинитет кон металите, односно формираат комплекси со јоните на тешките метали, кои потоа се транспортираат во вакуолата. Исто така, ксенобиотиците и некои секундарни метаболити (антоцијанини) ковалентно се врзуваат за GSH и се транспортираат во вакуолите на растителните клетки. Глутатионот може да учествува и во неутрализација на хербициди со посредство на ензимот глутатион-S-трансфераза (GST), при што формираните конјугати се транспортираат во вакуолите на растителната клетка.

Глутатионот има особено значење како хидрофилен антиоксидант во одбранбените реакции против оксидативниот стрес. Стимулирана биосинтеза на GSH се јавува кога клетката се наоѓа во услови на стрес, предизвикан од зголемена продукција на ROS или при компензација на останатите антиоксидантни соединенија со намален одбранбен капацитет. Глутатионот претставува редокс пуфер кој овозможува постојана состојба на редуцираност на интрацелуларната средина. Редукцијата на GSSG се одвива во присуство на NADPH како извор на електрони за негова редукција. Всушност, GSH претставува еден од најважниот интрацелуларен одбранбен антиоксидант кај растенијата кон токсичното дејство на ROS. Истражувањата покажуваат дека GSH е потенцијален неутрализатор на цитотоксичниот H_2O_2 и други ROS, како што се синглет кислород (1O_2), супероксиден анјон ($O_2^{\bullet-}$) и хидроксилан радикал ($OH^{\bullet}$). Притоа, GSH учествува во директна деградација на H_2O_2 со посредство на ензимот глутатион пероксидаза (GP) или во индиректна елиминација на H_2O_2 во клетките, бидејќи GSH претставува составна компонента на аскорбат-глутатионскиот циклус. Исто така, GSH има индиректно влијание врз заштитата на мембранските клеточни системи преку одржување на α -токоферолот во редуцирана состојба. Интензивирањето на стресните услови кај растенијата индуцира намалување на концентрацијата на GSH, нарушување на клеточната редокс состојба, што резултира со оштетување на биолошкиот систем. Метаболизмот на GSH е поврзан и со други одбранбени реакции. Всушност, GSH има значајна улога во регенерацијата на хидрофилниот антиоксидант аскорбинска киселина (AA) со посредство на аскорбат-глутатионскиот циклус. Според тоа, GSH активно учествува во одржувањето на содржината на AA во растителните клетки.

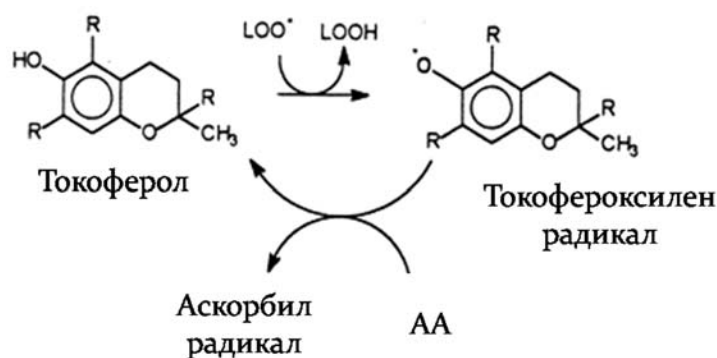
Аскорбинската киселина (Ascorbic Acid-AA) или Витамин С претставува хидрофилно соединение со особено важна функција во растот и развитокот, како и стрес физиологијата на растенијата. Голем број еукариотски организми синтетизираат AA како ефикасен антиоксидант со цел да се заштитат од токсичните ефекти предизвикани од дејството на ROS. Според хемиска структура, AA претставува алдоно-1,6-лактон на хексоична киселина која се нарекува L-галактонска или L-гулонска киселина (Сл. 4.6).



Слика 4.6 Структурна формула на аскорбинска киселина.

Содржината на АА во растителните ткива значајно варира зависно од физиолошката состојба на растителниот вид и факторите на животната средина. Фотосинтетските ткива, и плодовите содржат релативно висока концентрација на АА. Содржината на АА е повисока во младите ткива во споредба со повозрасните и според тоа, акумулацијата е особено изразена во активно растечките меристемски ткива. Исто така, ртењето на семето и отворањето на пупките е проследено со интензивно зголемување на концентрацијата на АА, како и зголемување на активноста на ензимите кои учествуваат во биосинтезата на АА. Од друга страна пак, процесот на сенесценција кај растенијата индуцира намалување на концентрацијата на АА во листовите. Според тоа, концентрацијата на АА е највисока во возрасни листови, бидејќи се карактеризираат со комплетно развиени хлоропласти. Аскорбинската киселина е присутна во речиси сите клеточни компартмани. Така на пр., АА се акумулира во висока концентрација во хлоропластите, кои опфаќаат околу 30-40% од вкупното количество на АА во листовите. Значајна содржина на АА се наоѓа во апопластот, цитоплазмата и вакуолите на растителната клетка. Во физиолошки услови на развој, АА е застапена главно во редуцирана форма во хлоропластите на клетките. Резервите на АА значајно се намалуваат како резултат на зголемување на оксидациските процеси во клетката или неефикасна регенерација на АА.

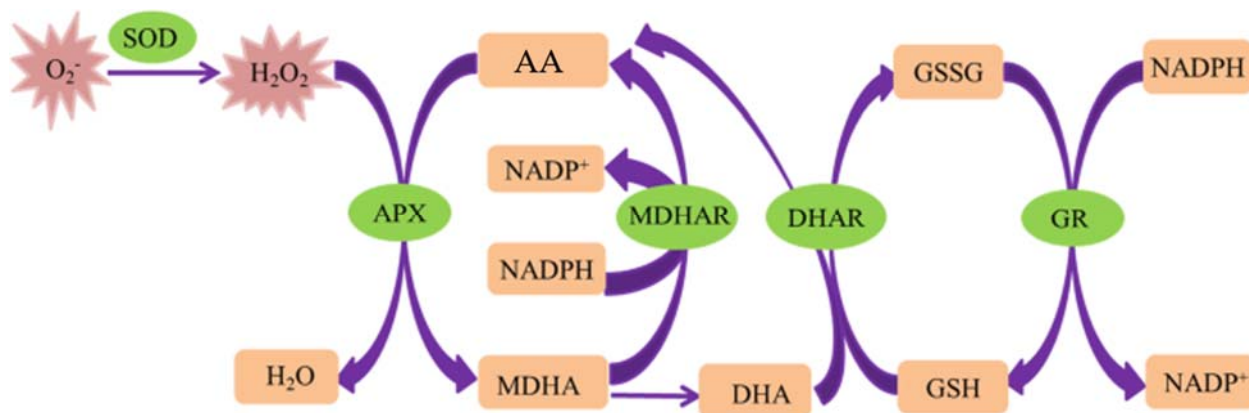
Аскорбинската киселина во клетките има антиоксидантна функција при неутрализација на ROS. Всушност, АА претставува доминантно и ефикасно антиоксидантно соединение, бидејќи учествува во ензимски и неензимски реакции на детоксификација на ROS. Според тоа, АА учествува во елиминацијата на формираните ROS при физиолошко функционирање на метаболизмот, како и при експонирање на растенијата во услови на стрес. Фундаменталното значење на АА во растителниот одбранбен систем е заштита на метаболичките процеси против дејството на H_2O_2 и други кислородни радикали. Всушност, АА има способност за директна неензимска неутрализација на 1O_2 , $O_2^{\cdot-}$, $OH^{\cdot}$, H_2O_2 , озон и липидни пероксиди. Исто така, АА има способност за неензимска детоксификација на одредени радикални соединенија. Така на пр., АА го одржува мембранскиот врзан α -токоферол во редуцирана состојба преку регенерација на неговата оксидирана форма α -токофероксилен радикал (Сл. 4.7). Липофилниот антиоксидант α -токоферол е присутен во висока концентрација во фотосинтетските мембрани и учествува во неутрализацијата на липидните пероксилни радикали и $O_2^{\cdot-}$. Според тоа, концентрација на АА во хлоропластите претставува ефикасен антиоксидантен резервоар за конверзија на високо токсичните пероксилни радикали до нетоксични производи, обезбедувајќи заштита на тилакоидните мембрански системи во клетката.



Слика 4.7 Функција на аскорбинска киселина во регенерација на α -токоферол.

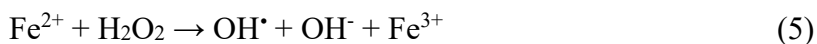
Аскорбинската киселина учествува во ензимска заштита на клеточните компартмани против оксидативно оштетување. Различни изоформи на ензимот аскорбат пероксидаза (APX) се идентификувани во клеточниот сид, цитоплазмата, митохондриите и пероксизомите на растителните клетки. Една од најпроучуваните функции на AA кај растителните клетки е заштитата на хлоропластите од ROS-посредуваното оксидативното оштетување. Всушност, AA претставува значајно антиоксидантно соединение во хлоропластите, бидејќи претставува супстрат за APX, ензим кој врши неутрализација на формируваниот H_2O_2 во тилакоидите. Според тоа, AA има важна антиоксидантна функција во хлоропластите, бидејќи овие клеточни органели не поседуваат активност на CAT за ефикасна детоксификација на H_2O_2 .

Продукцијата на ROS во хлоропластите се одвива и при физиолошко одвивање на процесите на фотосинтеза и фотореспирација. Неутрализацијата на формираните $O_2^{\cdot -}$ и H_2O_2 во хлоропластите се одвива со посредство на стромалните и тилакоид-врзани ензими супероксид дисмутаза (SOD) и APX. Активноста на овие ензими резултира со редукција на $O_2^{\cdot -}$ и H_2O_2 и формирање на оксидациски производи на AA. Сепак, **аскорбат-глутатионскиот циклус (AA-GSH циклус)** активно учествува во регенерацијата на AA од нејзините оксидациски производи. Компонентите од AA-GSH циклус, како ефикасен антиоксидантен систем против дејството на формируваниот H_2O_2 се потврдени во цитоплазмата, митохондриите и пероксизомите. Овој циклус се состои од серија на ензимски катализирани реакции, кои овозможуваат поврзување на H_2O_2 со оксидацијата на NADPH. При одвивање на AA-GSH циклусот, ензимот APX катализира реакција на редукција на H_2O_2 и формирање на монодеhidроаскорбат (MDHA). Формируваниот MDHA повторно се редуцира до AA со посредство на стромалниот NADPH-зависен ензим монодеhidроаскорбат редуктаза (MDHAR). Притоа, секој нередуциран молекул на MDHA неензимски се оксидира до DHA. Исто така, формируваниот DHA може да се редуцира до AA со посредство на ензимот DHA редуктаза (DHAR). Редуцирачката моќ за активноста на DHAR се надополнува преку оксидација на две GSH молекули до глутатион дисулфид (GSSG). Потоа, регенерацијата на GSH од GSSG се одвива под дејство на NADPH-зависниот ензим глутатион редуктаза (GR). Сите овие реакции, во комбинација со APX го претставуваат аскорбат-глутатионскиот (AA/GSH) или уште познат како Halliwell-Asada циклус (Сл. 4.8).



Слика 4.8 Шематски приказ на аскорбат-глутатионски циклус.

Зависно од физиолошките услови во клеточните компартмни, АА може да покажува функција на про-оксидант. Всушност, про-оксидантниот ефект на АА се одвива преку одржување на преодните метални јони (железо, бакар) во нивната редуцирана форма. Така на пр., АА може да го редуцира Fe^{3+} во Fe^{2+} (реакц. бр. 4), кој понатаму реагира со H_2O_2 и резултира со формирање на екстремно реактивни $\text{OH}^\bullet$ во Fenton-овата реакција (реакц. бр. 5).

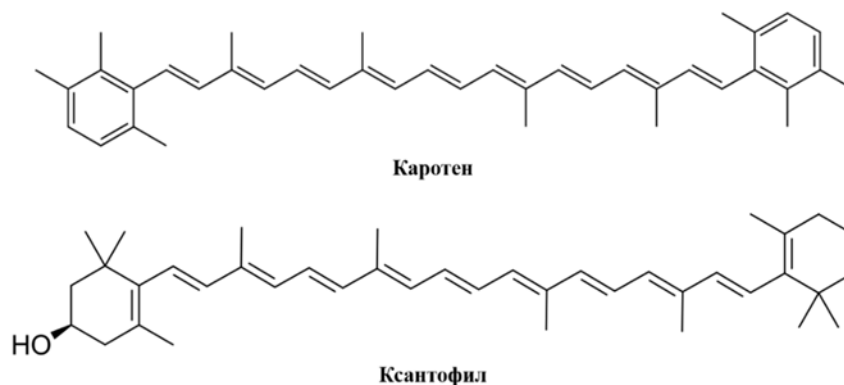


Исто така, АА има особено значење при извршување на одредени специфични функции, вклучувајќи редокс сигнализација, одговор кон механичките повреди, напад од патогени организми и хербивори, како и во одредувањето на времето на цветање кај растенијата.

Каротеноидите (Carotenoids-CAR) или Витамин А претставуваат липосолубилни пигментни соединенија кои се универзално дистрибуирани кај растенијата. Според хемиската структура CAR претставуваат изопреноидни соединенија, од кои најголем дел се C_{40} тетратерпеноиди. Во природата се изолирани и идентификувани повеќе од 600 различни CAR, меѓу кои само 24 најчесто се застапени во прехранбените производи што се конзумираат од страна на хуманата популација. Овощјето и зеленчукот го претставуваат главниот извор на CAR во исхраната на луѓето. Главни претставници од групата на CAR во природните прехранбени производи се: β -каротен, β -криптоксантин, ликопен, лутеин и виолаксантин. Каротеноидите се идентификувани во фотосинтетски и нефотосинтетски организми: виши растенија, алги, габи, бактерии, животни и хумана популација. Сепак, само микроорганизмите и вишите растенија имаат способност за *de novo* синтеза на CAR. Каротеноидите се природни пигментни соединенија одговорни за црвената, жолтата и портокаловата боја кај растенијата. Сепак, кај зелените растителни ткива, бојата на CAR е маскирана од доминантните хлорофилни пигменти. Бојата на CAR кај зелените делови од растенијата се забележува при сенесценција на листовите во есенскиот период како резултат на деградација на хлорофилите, како и при зреење на плодовите. Исто така, CAR ко-егзистираат со црвените или виолетовите антоцијанини, што резултира со појава на кафеава боја, која не може да се добие од ниту еден досега идентификуван пигмент.

Каротеноидите поседуваат изопреноидна структура составена од долг конјугиран полиенски синцир со двојни врски (Сл. 4.9). Основната структура на CAR може да биде линеарна или може да содржи еден или повеќе циклични β -јононски прстени на едниот или другиот крај од молекулот. Полиенскиот синцир составен од двојни врски е одговорен за карактеристичната боја на CAR. Најмалку седум конјугирани двојни врски се неопходни за CAR да бидат обоени. Неоксигенираните CAR се означуваат како **каротени**, додека пак, нивните оксигенирани деривати се нарекуваат **ксантофили** (Сл. 4.9). Најчесто застапени каротени се β -каротен во хлоропласти и ликопен во хромопласти на растителните клетки. Најзастапени ксантофили кај растителните ткива се лутеин, виолаксантин и неоксантин.

Дистрибуцијата на CAR е ограничена во хидрофобните структури на клетката (внатрешната страна на мембраните), бидејќи претставуваат липосолубилни соединенија. Каротеноидите се акумулираат во пластидите и се присутни во сите зелени делови на растенијата.



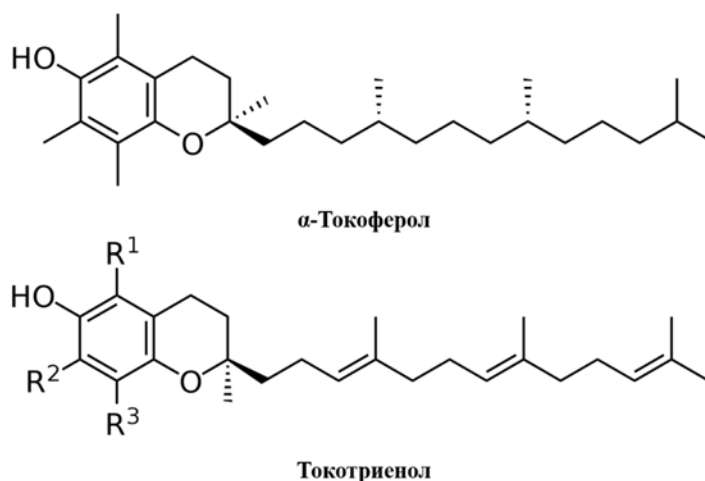
Слика 4.9 Структурни формули на каротеноиди.

Каротеноидите претставуваат ефикасни антиоксиданти, бидејќи имаат способност за неутрализација на ROS преку стапување во реакција со нив и формирање на помалку токсични производи. Всушност, антиоксидантната функција на CAR се базира на нивната способност за неутрализација на $^1\text{O}_2$ и пероксилните радикали. Неутрализацијата на $^1\text{O}_2$ со посредство на CAR се одвива на два начини. Првиот начин се одвива преку физички трансфер на експитациска енергија од $^1\text{O}_2$ на молекулот на CAR. Всушност, енергијата од $^1\text{O}_2$ се пренесува на молекулот на CAR и се формира основната состојба на кислородот (O_2) и ексцитиран каротеноид (CAR^*), (реакц. бр. 6). Формираниот CAR^* има способност за ослободување на експитациската енергија во форма на топлина преку серија на ротациски и вибрациски интеракции со растворувачот (реакц. бр. 7). Важно е да се напомене дека при овој процес на ослободување на енергија не настанува деструкција на CAR и на таков начин се врши регенерација на основниот неексцитиран CAR, кој повторно може да се користи за натамошна неутрализација на нови $^1\text{O}_2$.



Вториот начин опфаќа хемиска реакција помеѓу $^1\text{O}_2$ и CAR, што резултира со иреверзибилна деструкција на CAR. Сепак, CAR се ефикасни антиоксиданти, бидејќи хемиската реакција има мало значење и опфаќа само 5% од вкупната неутрализација на $^1\text{O}_2$. Способноста за CAR-посредувана неутрализација на $^1\text{O}_2$ зависи од бројот на конјугирани двојни врски и од крајните групи на CAR (циклични или ациклични). Ликопенот со 11 конјугирани и 2 неконјугирани двојни врски е најефикасен неутрализатор на $^1\text{O}_2$ во споредба со останатите CAR. Исто така, CAR учествуваат во неутрализација на пероксилните радикали за време на процесот на липидна пероксидација. Неутрализацијата на овие радикали овозможува прекинување на синцирните реакции кои вршат оштетување на мембранските системи. Всушност, неутрализацијата на пероксилните радикали со посредство на CAR се базира на способноста за нивно меѓусебно спојување и формирање на големи стабилизирани радикали. Притоа, адицијата на пероксилните радикали може да се одвива на двата краја од полиенскиот синцир или во средината од молекулот на CAR. Според тоа, неутрализацијата на $^1\text{O}_2$ и пероксилните радикали со посредство на CAR има големо значење при инхибирање на липидната пероксидација.

Токофероли (Tocopherols-TOC) или **Витамин Е** опфаќа група на липосолубилни соединенија присутни во сите растителни органи. Витаминот Е вклучува две групи на структурно слични соединенија, означени како токофероли и токотриеноли (Сл. 4.10). Токотриенолите се разликуваат од ТОС според присуството на три незаситени врски во позиција 3', 7' и 11' од страничниот синџир. Зависно од бројот и позицијата на метилните групи поврзани за ароматичниот прстен од хроманската група, ТОС и токотриенолите можат да постојат во 4 различни изомери, означени како α , β , γ и δ . Исто така, ТОС и токотриенолите се амфипатични соединенија, бидејќи хидрофобниот пренилен синџир е асоциран со мембранските липиди, додека пак, поларната хроманска група е експонирана кон површината на мембраната.



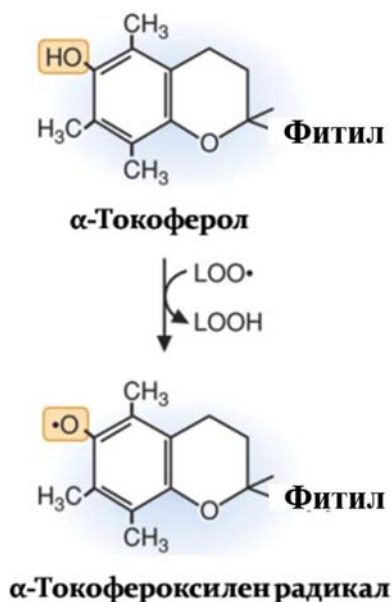
Слика 4.10 Структурни формули на токофероли и токотриеноли.

Токоферолите се есенцијални за исхраната на хуманата популација, бидејќи се синтетизираат само кај фотосинтетските организми. α -Токоферолот е еден од најважните токофероли за хуманото здравје, бидејќи ја претставува единствената форма на ТОС која може да се апсорбира и транспортира во хуманиот систем. Најбогат извор на ТОС во природата се растителните масла. Токоферолите се доминантни во масло од маслинки, сончоглед и пченка, а токотриенолите се главно присутни во масло од палма, јачмен и ориз.

Токоферолите се присутни во сите растителни органи кај вишите растенија. Доминантна форма на ТОС кај растенијата е α -токоферолот, освен во семињата, каде доминираат α - или γ -изоформите. Содржината на вкупни ТОС значајно варира во различни субцелуларни компартмани. Најголем дел од ТОС кај растенијата се акумулираат во пластидите и масните тела кои потекнуваат од ендоплазматичниот ретикулум во семињата. Пластоглобулите кои претставуваат еднослојни липидни субкомпартмани на тилакоидните мембрани содржат околу $\frac{1}{3}$ од вкупните ТОС во хлоропластите. Присуството на ТОС е потврдено и во некои екстрапластидијлни компартмани (вакуоли, микрозомални мембрани). Токотриенолите не се присутни во зелените делови кај вишите растенија, меѓутоа нивното присуство е потврдено во семињата, перикарпот и некои специјализирани клетки.

Токоферолите и токотриенолите претставуваат ефикасни липофилни антиоксидантни соединенија на биолошките мембрански системи. Антиоксидантната активност на ТОС се базира на неутрализација на липидните пероксилни радикали и $^1\text{O}_2$ и на таков начин влијаат врз инхибирање на синџирните реакции на пропација при одвивање на липидната

пероксидација. Всушност, ТОС стапуваат во интеракција со алкоксилни радикали ($\text{LO}^\bullet$), липидни пероксилни радикали ($\text{LOO}^\bullet$) и алкил радикали ($\text{L}^\bullet$), кои се формираат при оксидација на полинезаситените масни киселини. Овие реакции се одвиваат преку донирање на H-атом од OH-групата на хроманскиот прстен на ТОС врз липиден радикал, што резултира со формирање на токофероксилан радикал ($\text{TOH}^\bullet$), (Сл. 4.11).



Слика 4.11 Оксидација на α -токоферол во α -токофероксилан радикал.

Исто така, ТОС учествуваат во хемиска неутрализација на $^1\text{O}_2$ преку иреверзибилна оксидација на токоферолот. Физичката неутрализација на $^1\text{O}_2$ до O_2 со посредство на ТОС се одвива преку механизам на трансфер на енергија. Регенерацијата на ТОС се одвива преку редукција на $\text{TOH}^\bullet$ со посредство на антиоксидантите AA и GSH. Во услови на висока концентрација на ТОС, преодни метални јони, липидни пероксиди или други оксидирачки агенси, ТОС можат да ја стимулираат липидната пероксидација. Оваа состојба се карактеризира со висока концентрација на $\text{TOH}^\bullet$, кои не се неутрализираат од страна на AA и GSH.

Антиоксидантниот капацитет на ТОС зависи од степенот на метилација на ароматичниот прстен ($\alpha > \beta > \gamma > \delta$) и должината на пренилниот страничен синџир (11-13 C-атоми). Истражувањата покажуваат дека антиоксидантниот капацитет на изомерните форми на ТОС во *in vivo* услови е според следниот распоред: $\alpha > \beta > \gamma > \delta$. Според тоа, α -токоферолот поседува највисок антиоксидантен капацитет во споредба со останатите изформи на ТОС. α -Токоферолот е ефикасен антиоксидант поради тоа што реагира екстремно брзо со пероксилните радикали и преминува во средно стабилен радикал. Степенот на незаситеност на пренилниот синџир има големо влијание врз антиоксидантниот капацитет. Притоа, токотриенолите се карактеризираат со повисок степен на незаситеност во споредба со ТОС, што значи повисок степен на липосолубилност. Антиоксидантниот капацитет на токотриенолите не е доволно проучен, меѓутоа, α -токотриенолот покажува повисока антиоксидантна активност во споредба со α -токоферолот.

Фенолните соединенија претставуваат хетерогена класа на секундарни метаболити (флавоноиди, танини, хидроксциметни естри, лигнин, стилбени) присутни во растителните ткива. Фенолните соединенија поседуваат идеална хемиска структура за ефикасна неутрализација на ROS. Истражувањата покажуваат дека фенолните соединенија се поефикасни *in vitro* антиоксиданти во споредба со GSH, AA, TOC и CAR.

Антиоксидантните својства на фенолите се базираат на следните механизми:

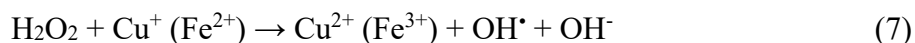
- неутрализација на ROS/RNS преку донирање на H-атоми или електрони
- инхибиција на формирање на ROS/RNS преку инактивирање на одредени ензими,
- стабилизација и делокализација на неспарениот електрон на полифенолен радикал,
- хелатирање на преодни метални јони,
- намалување на флуидноста на мембраните и инхибирање на дифузија на ROS/RNS,
- индуцирана експресија на одбранбени антиоксидантни гени.

Фенолните соединенија (POH) интерферираат во процесите на оксидација на липидите преку донирање на H-атом на соодветен радикал (R[•]), (реакц. бр. 5).



Формируваниот феноксилен интермедиерен радикал (PO[•]) е релативно стабилен и се минимизира веројатноста за иницијација на нова синцирна реакција (реакц. бр. 5). Исто така, PO[•] функционираат како терминатори (прекинувачи) на фазата на пропација преку реакција со други R[•], при што се добиваат нерадикални соединенија (POR), (реакц. бр. 6).

Фенолните соединенија поседуваат идеална хемиска структура за неутрализација на ROS, поради тоа што фенолните хидроксилни групи имаат афинитет за донирање на H-атом или електрон на одреден слободен радикал. Редукцискиот потенцијал на фенолните соединенија зависи од одредени структурни карактеристики на молекулите. Така на пр., редукцискиот потенцијал на фенолните киселини и нивните естри зависи од бројот на слободни OH-групи во структурата на молекулите. Алтернативна антиоксидантна активност на одредени фенолни соединенија се базира на способноста за хелатирање (конјугација) на преодни метали и на таков начин учествуваат во заштитата од метал-индуцираното формирање на ROS (реакц. бр. 7). Редокс активните метални јони (Cu⁺ или Fe²⁺) стапуваат во интеракција со H₂O₂ преку Fenton-овата реакција, при што се формираат екстремно реактивни хидроксилни радикали (OH[•]).



Во физиолошки услови, фенолните соединенија учествуваат во терминација на синцирните реакции на формирање на ROS преку стапување во реакција со секундарен радикал, при што се формираат нерадикални соединенија. Меѓутоа, во одредени услови, фенолните соединенија можат да стимулираат автооксидативен процес и покажуваат особини на про-оксиданти. Притоа, PO[•] стапува во реакција со O₂ и се формираат хинони (P=O) и супероксиден ањон (O₂^{•-}), (реакц. бр. 8)



Истражувањата покажуваат дека фенолните соединенија можат да имаат функција на прооксиданти во услови на висока рН вредност на медиумот, висока концентрација на преодни метални јони и присуство на O₂. При вакви услови, ниско молекуларните фенолни соединенија кои лесно се оксидираат (кверцетин, гална киселина) поседуваат про-оксидантна активност, додека пак, високо-молекуларните феноли (кондензирани и хидролизирачки танини) не функционираат како про-оксиданти.

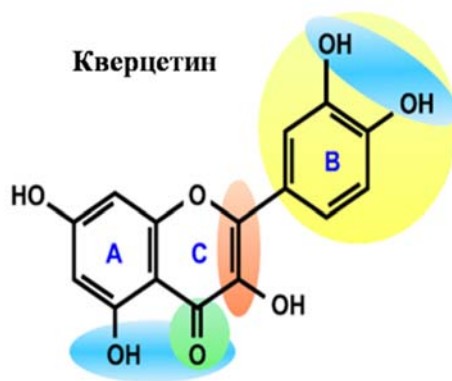
Флавоноидите опфаќаат голема подкласа на секундарни метаболити од групата на фенолни соединенија. Флавоноидните соединенија се широко распространети кај фотосинтетските растителни ткива и најчесто се застапени во листовите и цветовите. Флавоноидите најчесто се акумулираат во гликозилирана форма во растителните вакуоли. Флавоноидите и флавоноидните гликозиди се важни конституенти на голем број природни производи: овошје, зеленчук, семиња, чај, маслиново масло и црвено вино. Клиничките истражувањата покажуваат дека флавоноидите поседуваат анти-инфламаторно, антивирусно, антиалергиско, антиканцерогено и антиоксидантно дејство. Антиоксидантните својства на флавоноидите присутни во прехранбените производи често пати се поврзува со превенција против стареење, кардиоваскуларни и канцерогени заболувања. Во услови на стрес состојба кај растенијата се јавува индуцирана експресија на бројни биосинтетски гени на флавоноидите, што резултира со зголемување на нивната содржина кај растенијата.

Поради нискиот редокс потенцијал, флавоноидите се способни за редукција на голем број ROS присутни во биолошките системи, преку трансфер на електрони или H-атоми. Исто така, флавоноидите претставуваат ефикасни антиоксидантни соединенија поради способноста за хелатирање на металните јони. Овие антиоксидантни својства на флавоноидите овозможуваат ефикасна инхибиција на липидната пероксидација.

Главни структурни карактеристики кои ја одредуваат антиоксидантната (редуцирачка) активност на флавоноидите опфаќаат:

- *ortho*-дихидрокси структурата на прстенот В, кој се карактеризира со висок афинитет за донирање на електрони и висока стабилност на радикалната форма;
- 2,3-двојната врска во прстенот С која учествува во делокализација на електрони од прстенот В;
- 3- и 5-ОН групите од прстените А и С, кои се есенцијални за неутрализација на ROS.

Според наведените структурни карактеристики, **флавонолот кверцетин** ги поседува сите критериуми за ефикасни антиоксиданти (Сл. 4.12).



Слика 4.12 Структурни карактеристики на кверцетин.

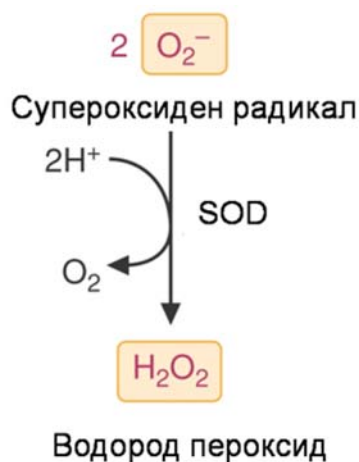
4.3.2 Ензимски антиоксидантни соединенија

Растенијата имаат развиено антиоксидантен ензимски систем кој опфаќа активност на ензимите:

- супероксид дисмутаза (SOD),
- каталаза (CAT),
- глутатион пероксидаза (GP),
- аскорбат пероксидаза (APX),
- глутатион редуктаза (GR),
- глутатион-S-трансфераза (GST),
- гвајакол пероксидаза (GPOD),
- монодехидроаскорбат редуктаза (MDHAR),
- дехидроаскорбат редуктаза (DHAR).

Досегашните истражувања покажуваат дека во услови на стрес се индуцира активноста на речиси сите антиоксидантни ензими.

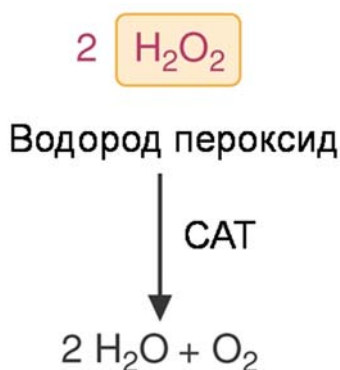
Супероксид дисмутаза (SOD; EC 1.15.1.1) опфаќа металоензими кои катализираат реакција на дисмутација на $O_2^{\cdot -}$ до H_2O_2 (Сл. 4.13). Оваа група на ензими се присутни кај сите аеробни организми. Зависно од присуството на метален јон како кофактор, SOD ензимите се класифицирани во три категории: бакар и цинк (Cu/Zn SOD), манган (MnSOD) и железо (FeSOD) изоформи. Ензимот Cu/ZnSOD е локализиран во хлоропластите, пероксизомите и цитоплазмата, MnSOD во матриксот на митохондриите, додека пак, Fe-SOD во хлоропластите на растителната клетка. Сите три форми на SOD се активираат при зголемување на концентрација на $O_2^{\cdot -}$ под дејство на различни абиотички стрес фактори.



Слика 4.13 Ензимски катализирана реакција на супероксид дисмутаза.

Реакцијата на дисмутација на $O_2^{\cdot -}$ под дејство на SOD овозможува добивање на H_2O_2 , кој може да се конвертира во $OH^{\cdot}$ преку одвивање на Fenton-овата реакција. Сепак, синхронизираната активност на SOD и CAT има негативно влијание врз формирањето на екстремно токсичните и реактивни $OH^{\cdot}$. Според тоа, SOD претставува прва одбранбена линија кај растенијата против дејството на ROS во услови на оксидативен стрес.

Каталаза (CAT; EC 1.11.7.6) претставува тетрамерен хем ензим кој учествува во директна реакција на дисмутација на H_2O_2 (Сл. 4.14) и е неопходен за детоксификација на ROS во услови на стрес. Растенијата содржат голем број изоформи на CAT кои можат да извршат директна дисмутација на H_2O_2 , како и други оксидирачки супстрати. Растителните CAT ензими можат да се класифицираат во три основни класи. Класа I CAT се застапени во фотосинтетските ткива и се вклучени во отстранувањето на формираниот H_2O_2 за време на фотореспирацијата. Класа II CAT се карактеристични за васкуларните ткива и имаат особено значење во процесот на лигнификација. Класа III CAT доминираат во семињата на младите растенија и учествуваат во отстранувањето на вишокот на H_2O_2 во пероксизомите.



Слика 4.14 Ензимски катализирана реакција на каталаза.

Ензимот CAT е присутен кај сите аеробни еукариоти и неговата примарна функција е отстранување на формираниот H_2O_2 во пероксизомите за време на одвивање на процесите на β -оксидација на масни киселини, фотореспирација, како и во услови на оксидативен стрес. Според тоа, во услови на стрес настанува пролиферација на пероксизоми, кои дополнително учествуваат при неутрализација на H_2O_2 кој дифундира од цитоплазмата.

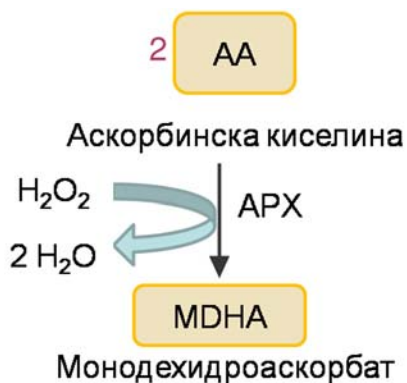
Глутатион пероксидаза (GP; EC 1.11.1.9) се ензими кои катализираат редукција на H_2O_2 до H_2O , како и липидни хидропероксиди (ROOH) до алкохоли (Сл. 4.15).



Слика 4.15 Ензимски катализирана реакција на глутатион пероксидаза.

Според тоа, ензимот GP има способност за неутрализација на H_2O_2 и детоксификација на производите на липидна пероксидација и на таков начин ја заштитуваат клетката од оксидативен стрес. Овие ензими катализираат редукција на пероксидите до вода или алкохол, а притоа се врши симултано оксидирање на GSH. Всушност, GP функционира во спрега со GSH, кој е присутен во висока концентрација во клетките. Ензимот GP кај растенијата може да се класифицира во три класи: селен зависни глутатион пероксидази, селен независни фосфолипидни хидропероксид пероксидази (PHGP) и глутатион трансферази (GST). Различните класи на GP се разликуваат помеѓу себе според структурата на нивните субединици и каталитичкиот механизам.

Аскорбат пероксидаза (APX; EC 1.11.1.1) претставува еден од најважните антиоксидантни ензими бидејќи го користи аскорбатот како донор на електрони со цел да го редуцира H_2O_2 до H_2O и монодехидроаскорбат (MDHA), (Сл. 4.16). Оваа група на ензими опфаќа најмалку 5 различни изоформи, вклучувајќи мембрански врзани тилакоидни и микрозомални изоформи, како и растворливи стромални, цитоплазматски и апопластни ензими. Цитоплазматските изоформи на APX поседуваат одбранбена улога, додека пак, мембранските изоформи учествуваат во контролирање на транспортот на електрони во спрега со аскорбат-глутатионскиот циклус. Во хлоропластите, SOD и APX ензимите постојат во растворлива и тилакоид-асоцирана форма. Формираниот $\text{O}_2^{\cdot-}$ во тилакоидната мембрана за кратко време се конвертира до H_2O_2 , кој понатаму се неутрализира под дејство на мембрански врзаниот ензим APX.

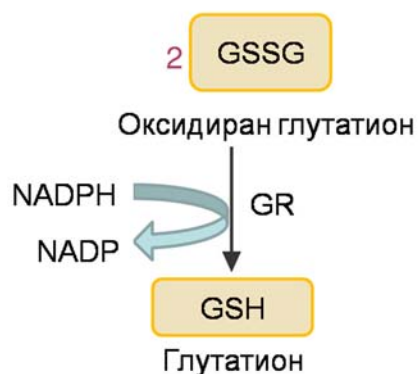


Слика 4.16 Ензимски катализирана реакција на аскорбат пероксидаза.

Ензимот APX има висок афинитет кон H_2O_2 (микромоларни концентрации) во споредба со CAT и POD (милимоларни концентрации). Според тоа, APX има особено важна улога во регулацијата на формирањето на ROS во клетките при услови на стрес. За разлика од CAT која учествува во намалување на содржината на H_2O_2 во пероксизомите, оваа функција APX ја извршува во хлоропластите и цитоплазмата на растителната клетка.

Активноста на APX во комбинација со аскорбат-глутатионскиот циклус функционира во заштита на фотосинтетските ткива од токсичните концентрации на H_2O_2 . Ензимот APX го користи H_2O_2 како супстрат и врши оксидација на AA до MDHA радикал, кој понатаму неензимски се конвертира до DHA. Ензимот MDHAR врши регенерација на AA на сметка на NADPH, додека пак, DHAR врши регенерација на AA во присуство на GSH, при што се формира GSSG. Формираниот GSSG се редуцира до GSH на сметка на NADPH преку активноста на ензимот GR.

Глутатион редуктаза (GR; EC 1.6.4.2) претставува флавопротеин оксидоредуктаза и катализира NADPH зависна редукција на GSSG во GSH (Сл. 4.17). Според тоа, активноста на овој ензим има големо значење во одржување на редуцираната форма на глутатион (GSH).



Слика 4.17 Ензимски катализирана реакција на глутатион редуктаза.

Улогата на глутатионот и GR во неутрализацијата на H_2O_2 е добро објаснета во аскорбат-глутатионскиот циклус. Ензимот GR учествува во последниот ензимски чекор од аскорбат-глутатионскиот циклус. Зголемувањето на активноста на GR кај растенијата резултира со акумулација на GSH и на таков начин се овозможува зголемена толерантност на растенијата во услови на стрес. Овој ензим примарно е локализиран во хлоропластната строма, а може да биде присутен и во митохондриите, цитоплазмата и пероксизомите. Важно е да се напомене дека GR учествува во одржувањето на висок GSH/GSSG однос, кој е неопходен за регенерација на AA.

Глутатион S-трансфераза (GST; EC 2.5.1.18) претставува хетерогена група на ензими кои катализираат конјугација на ксенобиотици со GSH. Растителните GST учествуваат во детоксификација на хербициди и хидропероксида, одржување на хомеостазата на хормоните, акумулација на антоцијанините во вакуолата, како и при одговор на растенијата кон дејството на абиотички и биотички стрес фактори.

Ензимот GST поседува потенцијал за отстранување на цитотоксичните пероксидни соединенија, кои учествуваат во оштетувањата на нуклеинските киселини и протеините. Растителните GST примарно се локализирани во цитоплазмата, меѓутоа, потврдени се микрозомални, јадрени и апопластни изоформи на ензимите. Истражувањата покажуваат дека зголемената експресија на GST ја зголемува резистентноста на растенијата кон различни стрес фактори.

Гвајакол пероксидаза (GPOD; EC 1.11.1.7) претставува хем ензим кој катализира оксидација на одредени супстрати на сметка на редукција на H_2O_2 . На таков начин, клетката се ослободува од високата концентрација на пероксиди кои се формират при физиолошки услови и состојба на стрес. Овој ензим има важна улога во одбраната на растенијата против дејството на биотички стрес фактори преку искористување на H_2O_2 од цитоплазмата, вакуолата, клеточниот сид и екстрацелуларниот простор. Ензимот GPOD има особен афинитет кон ароматични донори на електрони, како што се гвајаколот и пирогалолот. Гвајакол пероксидаза уште познат како „стрес ензим“ се смета како клучен антиоксидантен ензим, бидејќи интрацелуларните и екстрацелуларните изоформи на ензимот учествуваат во редукцијата на H_2O_2 .

Монодехидроаскорбат редуктаза (MDHAR; EC 1.6.5.4). Регенерацијата на редуцираната форма на АА се регулира со активноста на два ензими: монодехидроаскорбат редуктаза (MDHAR), кој директно го користи NADPH за рециклирање на АА и дехидроаскорбат редуктаза (DHAR), (Сл. 4.8). Ензимот MDHAR претставува флавин аденин динуклеотид кој е присутен во хлоропластите и цитоплазмата. Овој ензим покажува висока специфичност кон MDHA како акцептор на електрони. Истражувањата покажуваат дека при различни стресни услови настанува ефикасна неутрализација на ROS, како резултат на зголемување на активноста на MDHAR.

Дехидроаскорбат редуктаза (DHAR; EC 1.8.5.1) катализира реакција на регенерација на АА од нејзината оксидираната состојба дехидроаскорбат (DHA) и претставува значаен регулатор во рециклирањето на АА (Сл. 4.8). Едновалентната оксидација на АА овозможува формирање на монодехидроаскорбат (MDHA), кој понатаму се конвертира до DHA преку спонтанa дисмутација или натамошна оксидација. Потоа, DHA се редуцира до АА под дејство на ензимот DHAR, преку GSH-посредувана реакција. Ензимот DHAR учествува во регулирање на симпластната и апопластната концентрација на АА, како и редокс состојбата на растителната клетка.