

Vitamini

- Vitamini so organske spojine, ki jih telo potrebuje v majhnih količinah, a jih samo ne more sintetizirati (oziroma, jih ne sintetizira v zadostnih količinah)
- Med vitamine ne uvrščamo organskih spojin, ki jih potrebujemo v večjih količinah (esencialne aminokisliline, ω -3 in ω -6 AK), in esencialnih mineralov
- Ljudje potrebujemo 13 vitaminov (število se pri posameznih vrstah razlikuje- npr. askorbinska kislina za večino živali ni vitamin)
- Pri določenih vitaminih lahko zaužijemo njihove derivate, strukturno podobne spojine, ki jih v organizmu delno ali popolnoma pretvorimo v ustrezne vitamine.
- Vitamine razdelimo v dve veliki skupini glede na polarnost:
topni v maščobah (4) + topni v vodi (9)
- Pri nezadostnem uživanju vitaminov se lahko pojavi hipovitaminoza, pri prekomernem uživanju pa hipervitaminoza. Do hipervitaminoze lahko pride predvsem pri lipidotopnih vitaminih (težje se izločijo iz telesa)

Vitamini-zgodovinsko

- Že stari Egipčani so vedeli, da uživanje jeter lahko pozdravi nočno slepoto (vitamin A-retinol)
- V 18 stoletju so ugotovili, da uživanje citrusov na dolgih plovbah lahko pozdravi skorbut (vitamin C-askorbinska kislina)
- Srednji sloj na Japonskem , ki je uživali praktično samo poliran riž, je zboleval za boleznijo živčnega sistem Beriberi (pomankanje vitamina B₁-tiamin)
- Leta 1910 odkrije prvega vitamina izoliranega iz riževih otrobov. Odkril ga je, Japonec Umetaro Suzuki, ki pa je zaradi slabega prevoda izgubil prvenstvo (ni bilo publicitete)
- Leta 1912 je to isto snov izoliral Poljak Kazimierz Funk, ki je vedel da ima molekula amino skupino (tiamin) in da je ključnega pomena za življenje. Poimenoval ga je **vitamine** ("vital amine").
- Kasneje so izolirali še druge spojine, ki so nujno potrebne za življenje, a niso vsebovale amino skupine (npr. askorbinska kislina). Ker se je splošno ime dodobra prijelo, in ga niso želeli več spremeniti, so le izbrisali "e" (vitaming →**vitamin**), da bi nekako zakrili napačno poimenovanje.

Zakaj imajo vitamini enočrkovne oznake in nekateri tudi številčne indekse

- Zgodba o tem, kako se lahko dobri nameni sfizijo:
- V začetku 20. stoletja, so se odločili, da bodo lipidotopno "vitaminsko" frakcijo mleka poimenovali vitamin A; vodotopno frakcijo pa vitamin B
 - Kasneje so ugotovili, da vodotopna "vitaminska" frakcija mleka vsebuje več različnih spojin, zato so jim za poimenovanje začeli dodajati indekse (B₁, B₂, B₃,...)
 - Leta 1935 so se odločili, da bodo za askorbinsko kislino (ki je predvsem v sadju in zelenjavi) uporabili črko C
 - Od takrat naprej so vitamini dobivali imena tako v smeri naraščanja indeksnih števil pri B-ju, uporabljati pa so se začele tudi ostale črke angleške abecede.
 - Danes je na področju poimenovanja vitaminov kar velika zmeda, saj nekje prevladuje poimenovanje v smislu črk in indeksov, v nekaterih primerih pa se bolj uporabljajo kemijska imena.

Poimenovanje vitaminov in znanstvene znote

Vitaminov je **samo 13**

“vitaminov” z različnimi indeksi pri B in “vitamini”, ki zasedajo vse črke abecede **≈ 50**

Nekaj primerov zgrešenih poimenovanj

Razlogi za večje število

poimenovanj kot pa je dejansko vitaminov so naslednji:

• Nekateri vitamini so večkrat poimenovani z različnimi oznakami (odkrili so snov, ki je bila že odkrita)

• Nekateri snovi so uvrstili v drugo skupino esencialnih snovi (npr. MK)

• Nekateri snovi so vitamini za živali, na katerih so izvajali teste, niso pa nujno potrebni za človeka

• Za nekatere snovi, za katere so menili, da so vitamini, se je kasneje izkazalo, da jih lahko človek sintetizira

»vitaminsko ime«	Kemijsko ime	Razlog za spremembo
Vitamin B ₄	Adenin	DNA/RNA metabolit
Vitamin B ₈	AMP	DNA/RNA metabolit
Vitamin F	Esencialna MK	Razvrstitev v drugo skupino
Vitamin G	Riboflavin	Dejansko vitamin B ₂
Vitamin H	Biotin	Dejansko vitamin B ₇
Vitamin O	Karnitin	Proteinski metabolit
Vitamin P	Flavonoidi	Niso vitamini
Vitamin U	S-Metilmetionin	Proteinski metabolit

Vitamini, vitamini in provitamini

Vitamin	Vitamer	Pro-vitamin
Vitamin A	retinol retinal retinoic acid	β-carotene β-cryptoxanthin
Vitamin D	cholecalciferol (D ₂) ergocalciferol (D ₂)	
Vitamin E	α-tocopherol γ-tocopherol	
Vitamin K	phylloquinones (K ₁) menaquinones (K ₂) menadiolone (K ₃)	
Vitamin C	ascorbic acid dehydroascorbic acid	
Vitamin B ₁	thiamin	
Vitamin B ₂	riboflavin	
Niacin	nicotinamide nicotinic acid	
Vitamin B ₆	pyridoxal pyridoxal pyridoxamine	
Folic acid	Folic acid polyglutamil folacins	
Biotin	biotin	
Pantothenic acid	pantothenic acid	
Vitamin B ₁₂	cobalamin	

Določene strukturno sorodne spojine imajo lahko vitaminskih učinek (% učinkovitosti se razlikuje). To so vitamini. Nekateri vitamini vitamina A, imenujemo provitamini. Nabor vitaminov je še večji kot je prikazano v tabeli.

RDA in UL vrednosti za vitamine

Črkovni zapis	Nekateri vitamini za določen vitamin	RDA (µg/dan)	UL (µg/dan)
Vitamin A	Retinol, retinoidi, karotenoidi	900	3 000
Vitamin B ₁	Thiamin	1 200	NID
Vitamin B ₂	Riboflavin	1 300	NID
Vitamin B ₃	Niacin (nikotinska kislina) , niacinamide (amid nik. k.)	16 000	35 000
Vitamin B ₅	Pantotenska kislina	5 000	NID
Vitamin B ₆	Piridoksin, piridoksamine, piridoksal	1 300	100 000
Vitamin B ₇	Biotin	30	NID
Vitamin B ₉	Folna kislina (različna redoks stanja)	400	1 000
Vitamin B ₁₂	Cianokobalamin in spojine z drugimi ligandi poleg CN	2,4	NID
Vitamin C	Askorbinska kislina, dehidroaskorbinska kislina	90 000	2 000 000
Vitamin D	Ergocalciferol, holecalfiferol	5	50
Vitamin E	Tokoferoli, tokotrienoli	15 000	1 000 000
Vitamin K	filokinon, menakinon	120	NID

• RDA vrednosti so za moškega 20-30 let

• Zelo velikih razlik med moškimi in ženskami ni (kot je npr. železo)

• Pri nekaterih vitaminih se pogosteje uporablja **kemijsko ime** druge **črkovni zapis** (vitamini)

Vsebnosti vitaminov v živilih so odvisne od fiziološkega stanja sorte pogojenosti in pogojev pridelave

- Vsebnost vitaminov se lahko močno spreminja v odvisnosti od zrelosti plodu (vitamin C).
- Za β -karoten pri korenčku so ugotovili velike razlike med sortami, medtem ko "zrelost" ni veliko vplivala.
- Študije na β -karotenu in vitaminu C so pokazale velike razlike glede na način pridelave, gnojenje, osvetljenost, vodni režim, genetsko sliko (ni možno dati enoznačnega odgovora).
- V prihodnosti lahko pričakujemo GMO, ki bodo imeli spremenjene genetsko sestavo z namenom, da bi dosegli večjo vsebnost posameznih vitaminov.
- Na vsebnost vitaminov v živalskem tkivu lahko vplivamo s prehrano. To velja predvsem za lipidotopne vitamine. Pri vodotopnih vitaminih največkrat ne moremo doseči povečane vsebnosti, s prehrano živali lahko vseeno dosežemo, da njihova količina ni premajhna.

Influence of Degree of Maturity on Ascorbic Acid Content of Tomatoes

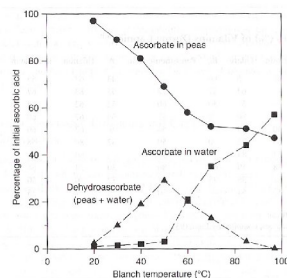
Weeks from Anthesis	Mean Fruit Weight (g)	Color	Ascorbic Acid (mg/100 g)
2	33.4	Green	10.7
3	57.2	Green	7.6
4	102	Green-yellow	10.9
5	146	Yellow-red	20.7
6	160	Red	14.6
7	168	Red	10.1

Spremembe v vsebnosti vitaminov med skladiščenjem in mehanskim procesiranjem

- Živila, ki so živa bitja (npr. sadje, zelenjava) ali del živih bitij (npr. kos mesa), vsebujejo različne encime, ki lahko pretvarjajo vitamine med skladiščenjem.
- Pri tem lahko pride do raznih hidrolitičnih ali redoks reakcij, kjer se en vitamin pretvarja v drugega. Posledica je pogostokrat slabša biološka dostopnost oblike, ali manjša stabilnost, ki lahko po dodatni spremembi vodi do izgube vitaminskega učinka.
- Nekateri vitamini so redoks aktivne spojine in so močno podvrženi oksidaciji, oksidirani produkti pogostokrat nimajo vitaminskega učinka.
- Pri mehanskem procesiranju živil pogostokrat zavržemo določene dele, ki imajo relativno visoko vsebnost vitaminov (npr. lupina pri sadju).
- Pri mletju žita in pripravi bele moke pride do več kot 50% zmanjšanja posameznih vitaminov.
- Velik problem pri mehanskem procesiranju je, da pride do mešanja vitaminov (substrati) in encimov, ki jih lahko pretvarjajo.
- Če npr. na tanko narezemo zelje encim askorbat-oksidadza v 5 minutah oksidira 50% vitamina C (oksidirana askorbinska kislina, ima še vedno vitaminski učinek)
- Čez 1 dan se zaradi endogene sinteze v tkivu vsebnost askorbinske kisline praktično vrne na začetno vrednost

Spremembe v vsebnosti vitaminov med termičnim procesiranjem

- Termična obdelava ima pogostokrat velik vpliv na vsebnost vitaminov. Prihaja do rušenja strukture celic ter mešanja encimov in vitaminov (substrati). Dokler se encimi ne denaturirajo, se lahko izgubi že velik del vitaminov. HTSP (high temperature short time processing) pogostokrat prispeva k večjemu deležu ohranjenih vitaminov.
- Termična obdelava pogostokrat poteka v vodi. Predvsem vodotopni vitamini se v veliki meri izlužijo v vodo. Če takšno vodo zavržemo, vitamine izgubimo. Pri termični obdelavi v mikrovalovki so največkrat izgube vitaminov zaradi izluževanja manjše.
- Pri povišani temperaturi potekajo tudi neencimske reakcije hitreje. Dejavniki kot so prisotnost redoks aktivnih ionov, neustrezen pH in svetloba, še dodatno pospešijo razgradnjo vitaminov



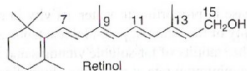
Vpliv različnih dejavnikov na stabilnost vitaminov

S-stabilno; U-nestabilno

Summary of Vitamin Stability^a

Nutrient	Neutral	Acid	Alkaline	Air or Oxygen	Light	Heat	Maximum Cooking Loss (%)
Vitamin A	S	U	S	U	U	U	40
Ascorbic acid	U	S	U	U	U	U	100
Biotin	S	S	S	S	S	U	60
Carotenes	S	U	S	U	U	U	30
Choline	S	S	S	U	S	S	5
Vitamin B ₁₂	S	S	S	U	U	S	10
Vitamin D	S	S	U	U	U	U	40
Folate	U	U	U	U	U	U	100
Vitamin K	S	U	U	S	U	S	5
Niacin	S	S	S	S	S	S	75
Pantothenic acid	S	U	U	S	S	U	50
Vitamin B ₆	S	S	S	S	U	U	40
Riboflavin	S	S	U	S	U	U	75
Thiamin	U	S	U	U	S	U	80
Tocopherols	S	S	S	U	U	U	55

Vitamin A-(retinol, retinal, retinojska kislina, estri retinojske kisline, nekateri karotenoidi)



Pod pojmom vitamin A razumemo veliko število strukturno podobnih spojin, ki se lahko pretvorijo v retinol in oksidirane oblike le tega

Funkcija vitamina A: gledanje (retinal), genska ekspresija (retinojska kislina), imunološke funkcije, antioksidant

Pomankanje vitamina A: različne oblike slepote (0,5 milijona otrok na leto oslepi zaradi pomankanja-nerazvite države). Pomankanje cinka pogostokrat vodi do motenj v resorpciji vitamina A.

Preveč vitamina A: V razvitem svetu 75% ljudi zaužije več kot je RDA. Problemi zaradi akumulacije v maščobah. Simptomi so odpoved ledvic, slabost, nevrološki problemi. Preoziriranje vitamina A lahko vodi, do motenj v metabolizmu kalcija (zlomi kosti, osteoporoza).

Viri vitamina A: jetra, meso, zelenjava s karotenoidi, maslo

Vitamini vitamina a se razlikujejo v biološki dostopnosti. β-karoten v zelenjavi ima manj kot 10% vitaminskega učinka retinola, če ga zaužijemo kot olje dosežemo 50% vitaminski učinek

Vitamina A-stabilnost

- Vitamin A (vse zvrsti) vsebuje konjugirane dvojne vezi, zato je zelo dostopen za oksidacijo, ki največkrat vodi do izgube vitaminskega učinka (kisik, svetloba, redoks aktivni kovinski ioni)
- Pogostokrat lahko gledamo na vitamere vitamina A kot na antioksidante. Takrat je lahko izguba vitaminskega učinka celo zaželjena, saj s tem, ko se sami oksidirajo zaščitijo druge spojine (npr. MK), ki bi se lahko oksidirale.razpadni produkti, dajo lahko tudi razne aromatične produkte.
- Izguba vitaminskega učinka je lahko povezana tudi z izomerizacijo dvojnih vezi, ki imajo le malo vitaminskega učinka (sveža zelenjava vsebuje praktično le *trans* izomere). *Cis* izomere β-karotena pri zelenjavi pakirani v pločevinke lahko dosežejo nekaj 10 %.
- Poleg termične izomerizacije poteka tudi fotokemična izomerizacija. Problemi te vrste se lahko pojavljajo npr. pri mleku ali korenčkovem soku.
- Vitamin A (tudi kot dodatek), je pri majhni vodni aktivnosti (kosmiči, mleko v prahu, ..) relativno stabilen.

Vitamin D

Vitamin D zajema nekaj strukturno podobnih spojin, ki jih lahko metabolno pretvarjamo.

Vitamin D je nujno potreben le, če koža ni izpostavljena UV žarkom. Pri normalni "osvetljenosti" ni nujno potreben.

Funkcija vitamina D: V organizmu se veže na določen receptor, ki vpliva na izražanje genov, za proteine, ki pospešijo resorpcijo kalcija v prebavnem traktu. Vitamin D vpliva tudi na nekatere imunološke procese.

Vitamin D3- holekalciferol

Pomanjkanje vitamina D: Motena kalcifikacija kosti (rahitis) in mnoge druge sistemske motnje

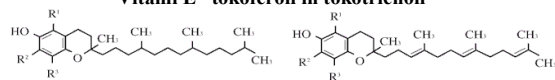
Preveč vitamina D: Hiperkalcemija, poškodbe ledvic (hipervitamozna ni pogosta)

Pozitivni učinki vitamina D: Manjša verjetnost za nekatere vrste raka, nižji krvni tlak; obstaja pozitivna korelacija med daljšo življensko dobo in vsebnostjo vitamina D v krvi

Viri vitamina D: ribje olje, ribe, vitamin D se pogostokrat dodaja hrani (mleko, margarina, žita)

Stabilnost vitamina D: vitamin D je občutljiv na svetlobo v prisotnosti kiska (oksidacija). V splošnem je relativno stabilen

Vitami E – tokoferoli in tokotrienoli



(A) α -tocopherol ($R^1 = R^2 = R^3 = \text{Ch}$)

(B) α -tocotrienol ($R^1 = R^2 = R^3 = \text{Ch}$)

Struktura vitamerjev vitamina E (12 različnih spojin):

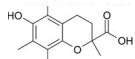
• Glede na nasičenost alkilne verige ločimo tokoferole (nasičeni) in tokotrienole (nenasičeni)

• Glede na substituite na aromatskem obroču (H ali CH_3) ločimo α, β, γ in δ oblike

• Molekule tokoferolov imajo 3 kiralne centre, tokotrienoli 1 kiralni center

• Različni vitaminski učinki $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ (oblik) in kiralnih spoji (R,S)

Compound	Rat Fetal Resorption	Rat Erythrocyte Hemolysis	Form of α -Tocopheryl Acetate ^a	Relative Vitamin E Activity (%)
α -Tocopherol	100	100	RRR	100
β -Tocopherol	25-40	15-27	All rac	77
γ -Tocopherol	1-11	3-20	RSS	90
δ -Tocopherol	1	0.3-2	RSS	73
α -Tocotrienol	27-29	17-25	SSS	60
β -Tocotrienol	3	1-5	RRR	57
			SRS	37
			SRR	34
			SSR	24



Trolox-vodotopna oblika vit. E ni dovoljen aditiv. Razsikovalni nameni.

Vitamin E-funkcija v organizmu in viri

• **Funkcija vitamina E:** antioksidant, tudi ostale funkcije (še vedno predmet raziskav)

• **Pomanjkanje vitamina E:** okvara živcev, poškodba eritrocitov (oksidacija)

• **Preveč vitamina E:** krvavitve (preprečuje strjevanje krvi), srčna odpoved, srčne okvare plodu

• **Pozitivni učinki vitamina E:** Morda zmanjša verjetnost za pojav raka, Alzheimerjeve bolezni, bolezni krovžilnega sistema

• **Viri vitamina E:** rastlinska olja, oreški, špinaca, pšenica (polnozrnanata)

Concentration of Tocopherols and Tocotrienols in Selected Vegetable Oils and Foods

Food	α -T	α -T3	β -T	β -T3	γ -T	γ -T3	δ -T
Vegetable oils (mg/100g)							
Sunflower	56.4	0.013	2.45	0.207	0.43	0.023	0.087
Peanut	14.1	0.007	0.396	0.395	13.1	0.03	0.922
Soybean	17.9	0.021	2.80	0.437	60.4	0.078	37.1
Cottonseed	40.3	0.002	0.196	0.57	38.3	0.089	0.457
Corn	27.2	5.37	0.214	1.1	56.6	6.17	2.52
Olive	9.0	0.008	0.18	0.417	0.471	0.026	0.613
Palm	9.1	5.19	0.153	0.4	0.84	13.2	0.002
Infant formula (saponified)	12.4		0.24		14.6		7.41
Spinach	26.03	9.14					
Beef	2.24						
Wheat flour	8.2	1.7	4.0	16.4			
Barley	0.02	7.0		6.9		2.8	

Vitamin E-antioksidativna učinkovitost in stabilnost

- Vitamin je fenolna spojina, ki se lahko oksidira. Pri tem nastane tokoferilni radikal, ki se lahko oksidira naprej v kinon. Reakcijo oksidacije pospešijo že prisotni prosti radikali, redoks aktivni kovinski ioni in povišana temperatura.
- Zaradi relativno stabilnega tokoferilnega radikala, ki ne povroča nadaljnje oksidacije, so vse oblike vitamina E izjemno dobri antioksidanti, posebej v lipidnih sistemih. V organizmu askorbinska kislina in glutation reducirata tokoferilni radikal nazaj v tokofereol. Ta sistem je ključen za antioksidativno delovanje vitamina E *in vivo*.
- Vitamin E lahko uporabimo kot antioksidant za stabilizacijo različnih lipidnih sistemov. Pogostokrat se ga dodaja v olja. Tu se oksidira s kisikom "namesto" nenasičenih MK in tvori stabilne kinone, kar v veliki meri upočasni radikalno oksidacijo MK. Lahko reagira tudi direktno s peroksilnimi radikali (LOO*) in preprečuje radikalno oksidacijo lipidov. Pri reakcijah oksidacije *in vitro*, v odsotnosti askorbinske kisline, se izgubi vitaminski učinek.
- Če hočemo zagotoviti, da se vitaminski učinek ohrani med skladiščenjem (ni antioksidant), lahko dodamo estre vitamina E (zaestrena OH skupina na aromatskem obroču), ki se učinkovito resorbirajo
- Pri dodatkih sintetičnega vitamina E, kjer je mešanica stereooizomer, je potrebno paziti, da dodamo večje količine, saj imajo nekatere manjši vitaminski učinek

Vitamin K

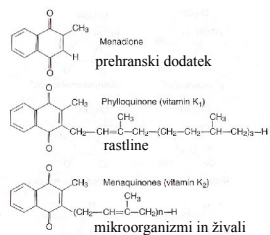
Vitamin K zajema več strukturno podobnih spojin (vitamerji), ki se lahko v organizmu pretvarjajo in imajo vitaminski učinek (menadion, filokinon, menakinon-in njihove reducirane oblike

Funkcija vitamina K: Vitamin K je kofaktor encima, ki modificira proteinazo, ki hidrolizira topen fibrin v netopen fibrinogen. Pretvorba fibrinogena je ključen proces v strjevanju krvi.

Pomanjkanje vitamina K: Ni pogosto. Izpostavljeni so novorojenčli, ljudje z motnjami hranjenja in določenimi metaboličnimi motnjami. Pomanjkanje lahko vodi do osteoporoze in krvožilnih obolenj.

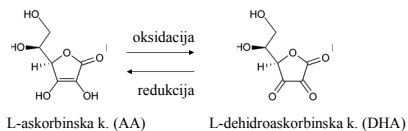
Preveč vitamina K: rdečica, sprememba občutkov

Viri vitamina K: Filokinon v listnati zelenjavi (v kloroplastih); biološka dostopnost se poveča, če dodamo lipide. Menokinoni nastajajo v prebavnem traktu (mikroorganizmi. So tudi v mesu, jajcih.



Vitamin C-askorbinska in dehidroaskorbinska kislina

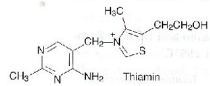
Tako reducirana kot oksidirana oblika imata vitaminski učinek. V organizmu se medsebojno pretvarjata



Hidroksilni skupini na C2 (pKa₂ = 11,4) in C3 (pKa₁ = 4,1) askorbinske kisline imata kislinsko bazične lastnosti. C4 in C5 sta kiralna centra. "Neustrezne" izomere na C4 in C5 nimajo vitaminskega učinka.

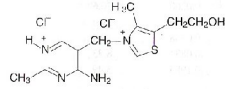
- Funkcija vitamina C:** biosinteza kolagena, karnitina, neurotransmiterjev; antioksidant,
- Pomanjkanje vitamina C:** skorbut (motna biosinteza kolagena-krvavitve)
- Preveč vitamina C:** pri izjemno visokih dozah se lahko pojavijo blažji izpuščaji, ledvični kamni?
- Pozitivni učinki vitamina C:** antioksidant (rak, kardiovaskularne bolezni, prehlad-morda); DHA kot takojšnja terapija pri možganski kapi
- Viri vitamina C:** sveža rastlinska hrana (citrusi, jagode, zelje), krompir; svež šipek ima več kot 30x večjo vsebnost vitamina C kot limone

Vitamin B₁-tiamin



V živilih se največkrat nahaja v fosforilirani obliki (OH skupina)-tiamin pirofosfat

Povezana pirimidinski (6 členski) in tiazolni (5 členski) obroč. Ima kislinsko bazične lastnosti (pKa = 4,8); kot dodatek živilom se uporabljajo kloridi in nitrati tiamina.



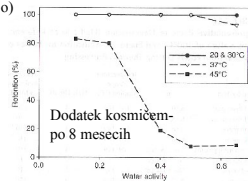
- **Funkcija vitamina B₁ (tiamin):** kofaktor encimov vključenih v katabolizem sladkorjev in aminokislin
- **Pomanjkanje vitamina B₁ (tiamin):** beriberi (bolezen živčnega sistema), kardiovaskularne bolezni, utrujenost in hujšanje v blažjih oblikah
- **Preveč vitamina B₁ (tiamin):** Hipervitaminoze pri ljudeh niso opazili, pri poskusih na živalih so se problemi pojavili šele pri 1000x večjih koncentracijah, kot jih normalno zaužijemo
- **Pozitivni učinki vitamina B₁ (tiamin):** Tiamin naj bi v 50X RDA izboljšal možganske funkcije?
- **Viri vitamina B₁ (tiamin):** žita (polnozrnata-v beli moki ostane le 10%, svinjsko meso,kvas, jetra, jajca. Dodatek tiamina, da živilom bolj "mesnat" okus.

Stabilnost vitamina B₁ (tiamin)

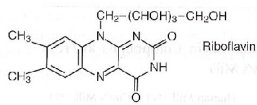
Dejavniki, ki poslabšajo stabilnost tiamina v živilih:

- Luženje v vodno raztopino iz živil pri povišanih temperaturah
- Nevtralen ali bazičen pH (tiamin pirofosfat, ki je glavni prehranski vir, je precej manj stabilen od tiamina v teh razmerah)
- Pristotnost sulfidov (reagirajo s tiaminom- pride do odcepitve obročev; zaradi velikega poslabšanja stabilnosti tiamina, se sulfidov ne sme uporabljati v hrani, ki so pomemben vir tiamina
- Pristotnost tiaminaze (endogeni ali bakterijski encimi katalizirajo razgradnjo tiamina)
- Pristotnost hema (neencimska oksidacija-predvsem v mesu in plavih ribah)
- Pristotnost nekaterih polifenolov (pospešijo oksidacijo)

- Pri majhni a_w (do 0,3) in na sobni temperaturi je tiamin zelo stabilen.
- Svetloba le malo vpliva na stabilnost tiamina



Vitamin B₂- riboflavin



Riboflavin se v živil nahaja v prosti obliki, fosforiliran (FMN) ali v obliki dinukleotida (FAD). Nahaja se v oksidirani in reducirani obliki. Uvrščamo ga med polarne vitamine, čeprav je slabo topen v vodi.

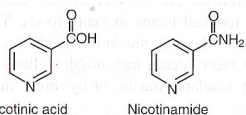
- **Funkcija vitamina B₂ (riboflavin):** sestavni del kofaktorjev mnogih oksidoreduktaz, dihalna ver.
- **Pomanjkanje vitamina B₂ (riboflavin):** Spremembe sluznice, kože, vnetja, redkokdaj imamo samo pomanjkanje riboflavina (razširjenost). Pogostokrat je znak splošne hipovitaminoze. Do pomanjkanje pride lahko pri novorojenčkih, ki jih zaradi zlatenice obsevajo z UV svetlobo (bilirubin).
- **Preveč vitamina B₂ (riboflavin):** ni znanih hipervitaminoz tudi dozaj nekaj 100x večjih od RDA
- **Pozitivni učinki vitamina B₂ (riboflavin):** nekatere študije so pokazale uporabnost povišanih količin riboflavina pri migreni.
- **Viri vitamina B₂ (riboflavin):** pusto meso, nekatere stročnice in zelenjava, mlečni izdelki

Stabilnost vitamina B₂ (riboflavin)

- Stabilen v kisljih raztopinah, manj stabilen v nevtralnem, zelo nestabilen v bazičnem
- Zelo občutljiv na fotokemično razgradnjo. Pri tem se tvorijo tudi prosti radikali, ki lahko poškodujejo tudi ostale komponente (npr. lipide, askorbinsko kislino).
- Spremembe zaradi fotokemične razgradnje lahko privedejo tudi do sprememb arome (mleko). Mleko je potrebno pakirati v nepropustno embalažo (problemi v ZDA v preteklosti).
- Shranjevanje v dehidrirani obliki (tudi kot dodatek) živilom, je največkrat zelo dobro. Pogostokrat se ga dodaja v razne kosmiče.
- Da se izboljša topnost riboflavina v vodi, se ga lahko doda v obliki fosfata-FMN (višja cena)
- Riboflavin se lahko dodaja živilom tudi zaradi rumene-oranžne barve (npr. vložene narezane kumarice, bonboni)

Vitamin B₃- niacin

Niacin se v živilih nahaja v kislinski in amidni obliki, ali kot del kofaktorjev (NAD, NADP). Nahaja se v oksidirani in reducirani obliki.



- **Funkcija vitamina B₃ (niacin):** Del kofaktorjev (NAD, NADP) mnogih oksidoreduktaz
- **Pomanjkanje vitamina B₃ (niacin):** Pelagra (spremembe na koži, diareja, nevrološki simptomi). Danes je pomanjkanje niacina redko. Delno se lahko sintetizira tudi iz triptofana (esencialna AK).
- **Preveč vitamina B₃ (niacin):** srbečica, povišan sladkor, problemi z vidom
- **Pozitivni učinki vitamina B₃ (niacin):** Zaradi vpliva na metabolizem MK, naj bi se zmanjšal delež LDL holesterola in povečal delež HDL, pri dnevnem uživanju gramskih količin niacina (100x UL) ???
- **Viri vitamina B₃ (niacin):** uživanje pestre hrane (povsod malo). V nekaterih živilih je slabo dostopen. V preteklosti problemi, če je bila glavno živilo koruza (alkalna obdelava koruze poveča dostopnost niacina za 10x)
- **Stabilnost niacina:** Najbolj stabilen vitamin. Morda edini problem je luženje v vodo, ki jo potem zavržemo.

Vitamin B₅- Pantotenska kislina

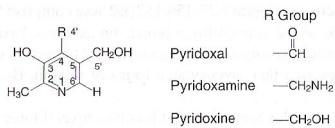
V živilih je največkrat kot del koencima A.
V prebavnem traktu s hidrolizo nastane pantotenska kislina.

- **Funkcija vitamina B₅ - pantotenske kisline:** Kot sestavni del koencima A je vključen v mnogo metabolnih procesov
- **Pomanjkanje vitamina B₅ - pantotenske kisline:** Pojavlja se le redko (splošna podhranjenost). Simptomi so apatija, utrujenost, hipoglikemija, nevrološki simptomi.
- **Preveč vitamina B₅ - pantotenske kisline:** Praktično ni poznanih primerov toksičnosti. Pri več kot 1000X RDA se pojavlja le rahla diareja. Lahko se uporablja tudi v kozmetiki.
- **Pozitivni učinki vitamina B₅ - pantotenske kisline:** Hitrejše zdravljenje razjed pri sladkorni bolezni. Znižanje LDL holesterola in trigliceridov (zaenkrat potrejno pri miših). Dodatek pantotenske kisline v šampon ne zmanjša prhljaja (čeprav oglašujejo).
- **Viri vitamina B₅ - pantotenske kisline:** polnozrnat žita, jajca, meso, zelenjava

Najbolj stabilna pri pH 5-7. Pri kuhanju se pogostokrat izluži v vodo (30%-80%). V zelo kisljih ali bazičnih raztopinah lahko pride do hidrolize peptidne vezi in izgube vitaminskega učinka.

Vitamin B₆- piridoksal, piridoksamin, piridoksin ter fosforilirani in glikozilirani derivati

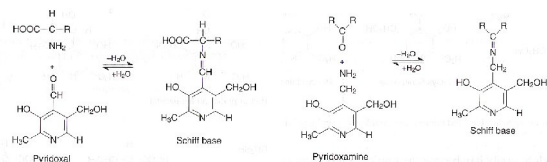
- Kislinsko baznične lastnosti: N1 (pK_a 8-9); OH na C3 (3,5-5); amino na C4' (10,5), +fosfat
- Glikozilirane oblike v sadju in zelenjavi (20% skupnega)-aktivne šele po hidrolizi
- V mesu sta predvsem fosforilirani piridoksal in pridoksamin



- Funkcija vitamina B₆**; kofaktor transaminaz, metabolizem (AK, OH, lipidov, hema, selena,...), regulacija ekspresije nekaterih genov
- Pomanjkanje vitamina B₆**; dermatološke in nevrološke spremembe, motena glukoneogeneza, pomanjkanje se pojavlja pogostokrat v kombinaciji z ostalimi B vitamini
- Preveč vitamina B₆**; Preobčutljivost perifernih živcev (bolečina)-pojavlja se le pri predoziranih s tabletami (več kot 100x RDA). Stanje je reverzibilno in se izboljša, ko se zmanjša vnosa.
- Pozitivni učinki vitamina B₆**; Manjša verjetnost za parkinsonovo bolezen, nevrološke motnje pri otrocih, zdravljenje mačka, bolj žive sanje (triptofan →serotonin). Za vse navedeno???
- Viri vitamina B₆**; meso, polnozrna žita, zelenjava, oreški

Pretvorbe vitamina B₆ in vitro

- Mehanske poškodbe ali termična obdelava privedeta do defosforilacije in deglikozilacije vit B₆
- Aldehidna (piridoksal) in amino (piridoksamin) skupina sta ključni za biološko funkcijo (transaminacija).
- Kemijsko reaktivni sta tudi v živilih, kjer lahko reagirata z AK in proteini, oziroma s spojinami z aldehidno ali keto skupino. pH optimum za tvorbo Schiffove baze je v alkalnem.
- Reakcije lahko predvsem pri različnih aminokislinskih vezanih na piridoksal potekajo še naprej. Pri tem nastanejo ciklični produkti. Pogostokrat pri termični obdelavi pride do razpada, nastanejo hlapne arome (predvsem iz cisteina) in piridoksal se pretvori v piridoksamin
- Nastale Schiffove baze so nestabilne in v kislem (želodec) razpadejo. To pomeni, da tako modificirane molekule ne izgubijo vitaminskega učinka (~50 % biološka dostopnost)



Stabilnost in razgradnja vitamina B₆

Procesi v živilih, ki vodijo do izgube vitaminskega učinka:

- Vse oblike vitamina B₆ so fotokemično nestabilne in pričnejo razpadati v spojine, ki nimajo vitaminskega učinka. Pridoksal hitreje razpade kot aminska ali hidroksi oblika. Do razpada prihaja tudi pri nizki a_w (0,3)
- Vse oblike vitamina B₆ so dobro stabilne v zelo kislih raztopinah (pH 1). V blago kislem pH-ju (4-7), ki je značilen za večino živil se njihova stabilnost močno razlikuje. Piridoksin ostane najbolj stabilen in začne razpadati šele pri temperaturah nad 100 °C. Piridoksal in piridoksamin sta nestabilna že pri temperaturah pod 50 °C, kjer imata razpolovno dobo od nekaj mesecev do nekaj let (odvisno od pH in temperature).
- Ker je piridoksin bolj stabilen se ga največkrat dodaja v živila. Piridoksin dodajajo predvsem mleku in prahu za dojenčke, kjer lahko pri pripravi pride do 50% izgub piridoksala.

Stabilnost in razgradnja folatov in tetrahidrofolatov (vitamin B₉)

Folna kislina, ki se jo doda v živila z majhno a_w , je zelo stabilna, saj vsebnost ostane praktično nespremenjena nekaj mesecev.

Dejavniki, ki vplivajo na vsebnost folata in tetrahidrofolata v živilih z visoko a_w :

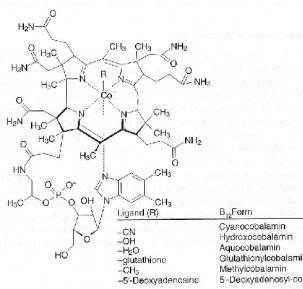
- V prisotnosti kisika poteka oksidacija tetrahidrofolata. V oksidaciji lahko nastane oksidirana folna kislina, ki ohrani vitaminski učinek, ali pa pride do razpada molekule in izgube vitaminskega učinka. V kompleksih živilih lahko snovi, ki porabljajo kisik (npr. askorbinska kislina) upočasnijo oksidacijo pri povišani temperaturi.

- Pristotnost kovinskih ionov (predvsem baker, manj železo) pospeši oksidacijo s kisikom. Dodatek citrata, ki kompleksira redoks aktivne ione pa jo upočasni.

- Tetrahidrofolat je najmanj stabilen v območju pH 4 do pH 6 (mnogo živil). Substituirani tetrahidrofolati so bolj stabilni.

- Folati in tetrahidrofolati se kot vodotopne molekule pri kuhanju delno izlužijo v vodo (od 20% do 80%)

Vitamin B₁₂- Cianokobalamin in sorodne spojine



- Na prvi pogled sorodna struktura kot klorofil ali hem. Izoliranih je bilo okoli 20 analogov vitamina B₁₂ (nekateri pri sesalcih nimajo vitaminskega učinka).

- Cianokobalamin (ki se ga dodaja v razna živila) ima rdečkasto barvo, kar lahko limitira njegovo uporabo v svetlih živilih (npr. bel kruh)

Vitamin B₁₂- funkcija in stabilnost

- **Funkcija vitamina B₁₂-kobalamina:** Je kofaktor encimov, ki so vključeni v biosintezo nukleotidov in metabolizem maščobnih kislin. Deluje tako da prenaša metilne skupine (podobno kot folat).

- **Pomanjkanje vitamina B₁₂-kobalamina:** utrujenost, depresija, nevrološki simptomi, anemija. Simptomi pomanjkanja B12 povezani z anemijo se pogostokrat prekrivajo s simptomi pomanjkanja folata (potrebno je preveriti oba)

- **Preveč vitamina B₁₂- kobalamina:** Visoke doze so lahko povezane z dermatološkimi problemi, diarejo in trombozo.

- **Pozitivni učinki vitamina B₁₂- kobalamina:** Upočasnijo razvoj Alzheimerjeve bolezni, velike doze hidroksikobalamina se dodajo pri zastrupitvah s cianidom

- **Viri vitamina B₁₂- kobalamina:** jetra, mehkužci-morski, mleko, jajca. *Rastline praktično nimajo B₁₂-razen mikroorganizmov s katerimi živijo v simbiozi.*

- B₁₂ se dodaja v izdelke iz žit, kjer pri nizkem a_w le malo razpade v času enega leta.

- V mleku, ki je na sobni temperaturi (alpsko), ni tako stabilen, saj v 3 mesecih razpade 50% B₁₂.

- B₁₂ je najstabilnejši pri pH 4-7, v kislem in bazičnem pH-ju lahko pride do hidrolize N-glikozidne vezi

- Biološka dostopnost B₁₂ je lahko zmanjšana v prisotnosti pektina.
