

# Vitaminy

## definice (atributy)

- organické nízkomolekulární sloučeniny syntetizované autotrofními org.
- nejsou zdrojem energie ani stavebním materiálem
- funkce biokatalyzátorů (nezbytné pro látkovou přeměnu a regulaci metabolismu)



**exogenní esenciální biokatalyzátory**

- **autotrofní organismy:** (bio)syntéza
- **heterotrofní organismy:** - částečná syntéza  
- potrava  
- střevní mikroflóra

např.	niacin	biosyntéza z Trp (1 mg ~ 60 mg)
	thiamin	velmi málo střevní mikroflora
	biotin	hodně střevní mikroflora
	korinoidy	hodně střevní mikroflora
	vitamin K	hodně střevní mikroflora

# názvosloví a klasifikace

## souvislost s onemocněním

antixeroftalmický faktor	A	retinol	vitamin proti šerosleposti
antiskorbutický faktor	C	askorbová kyselina	proti kurdějím
antirachitický faktor	D	kalciferoly	proti křivici
antiberiberi faktor	B <sub>1</sub>	thiamin	
koagulační faktor	K <sub>1</sub>	fyllochinon	

velká písmena abecedy, číselné indexy D<sub>2</sub> (ergokalciferol), D<sub>3</sub> (cholecalciferol)

jednoduché triviální názvy askorbová kyselina

## ve vodě rozpustné (hydrofilní)

1. thiamin (aneurin, B<sub>1</sub>)
  2. riboflavin (laktoflavin, B<sub>2</sub>, G)
  3. niacin (nikotinová kyselina, B<sub>3</sub>;  
nikotinamid, PP)
  4. pantothenová kyselina (B<sub>5</sub>)
  5. pyridoxin (~al, ~ol, ~amin, B<sub>6</sub>)
  6. biotin (H)
  7. folacin (B<sub>c</sub>)
  8. kyanokobalamin (korinoidy, B<sub>12</sub>)
- 1.- 8. skupina vitaminů B (B-komplex)**
9. askorbová kyselina (vitamin C)

## v tuku rozpustné (lipofilní)

10. retinoidy (A)
11. kalciferoly (D)
12. tokoferoly (E)
13. fyllochinon (K)

## **biochemie**

**ve vodě rozpustné:**

**exkrece nadbytku močí**

**hlavní ztráty výluhem**

**kofaktory enzymů (koenzymy a prostetické skupiny)**

**v tuku rozpustné:**

**ukládání v játrech**

**hlavní ztráty oxidací**

**možnost hypervitaminosy**

**jiné funkce**

## terminologie

hypovitaminosa

příjem v nedostatečném množství

avitaminosa

přechodný úplný nedostatek

(porucha biochemických funkcí)

hypervitaminosa

nadměrný příjem (porucha funkcí) **A, D**

retence

kolik % se zachovalo z původního množství

restituce

doplnění na původní množství

fortifikace

přídavek na vyšší množství než původní

provitamin

prekursor (biologicky inaktivní látka)

antivitamin

látka rušící biochemické využití vitamínu (antagonista vitamínu)



- strukturní analogy (kompetitivní inhibitory) (oxythiamin)
- enzymy katalyzující degradaci vitaminů (thiaminasy)
- látky tvořící s vitamíny nevyužitelné komplexy (avidin)

## množství (obsah v potravinách)

- biologické jednotky (myší, kuřecí aj.)
- mezinárodní jednotky

vitamin A	1 IU = 0,3 µg retinolu = 0,6 µg β-karotenu
	<b>1 RE = 1 µg retinolu = 3,33 IU</b> (RE=Retinol Equivalentents)
vitamin D	1 IU = 0,025 µg vitaminu D <sub>3</sub> (nebo D <sub>2</sub> )
vitamin E	1 IU = 1 mg all-rac α-tokoferyl-acetátu

- hmotnostní jednotky
- **bohaté zdroje vitaminu** x **významné zdroje vitaminu**

## potřeba

druh organismu

věk

fyziologický stav

## potřeba vitaminu C podle věku

věk (roky)	< 1	1-4	4-10	10-18	> 18
mg / den	35	40	40	45	45-80

## doporučené denní dávky v ČR (příloha č. 5 k Vyhlášce č. 225/2008 Sb.)

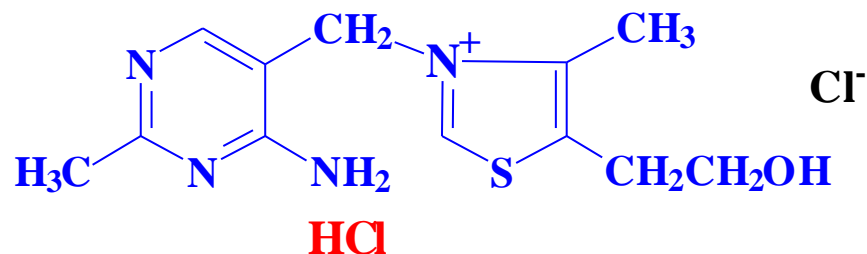
thiamin	mg	1,4
riboflavin	mg	1,6
niacin	mg	18
vitamin B <sub>6</sub>	mg	2
pantothenová kyselina	mg	6
folacin (listová kyselina)	μg	200
biotin	mg	0,15
vitamin B <sub>12</sub>	μg	1
<b>vitamin C</b>	<b>mg</b>	<b>60</b>
vitamin A	μg	800
vitamin D	μg	5
vitamin E	mg	10

### použití

- aditivní (přídavné) látky k restituci a fortifikaci **"všechny" vitaminy**
- barviva **riboflavin, provitaminy A**
- antioxidanty **vitamin C, provitaminy A, vitamin E**

## thiamin B<sub>1</sub>

- volný
- vázaný (fosforečné estery, mono-, di-, trifosfát, difosfát kofaktorem enzymů)
- jiné formy (thiol, disulfid)
- thiaminchloridhydrochlorid (synt.)



### vepřové maso

- thiamin 18 %
- difosfát 52 %
- thiol 22 % (rozklad v neutrálním prostředí)
- disulfid 8 % (produkt oxidace thiolu)

### zdroje (mg / 100 g)

- |                        |           |                   |
|------------------------|-----------|-------------------|
| • obiloviny, luštěniny | 0,1-1     | hl. volný thiamin |
| • maso vepřové         | 1         | hl. difosfát      |
| • maso hovězí          | 0,04-0,1  |                   |
| • ovoce                | 0,04-0,1  |                   |
| • zelenina             | 0,03-0,15 |                   |
| • brambory             | 0,05-0,18 |                   |
| • pivo                 | stopy     | hl. v kvasinkách  |



## krytí potřeby (%)

• cereální výrobky (chléb)	43 (20)
• maso a masné výrobky	18-27
• mléko a mléčné výrobky	8-14
• brambory	10
• luštěniny	5
• zelenina	12
• ovoce	4
• vejce	2

## ztráty **velmi labilní vitamin (zvláště v neutrálním a alk. pH)**

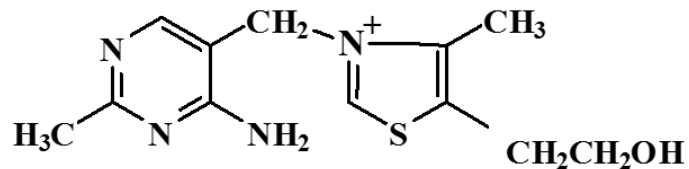
• vaření vepřového masa	~ 40-60 %
• pečení chleba	~ 25-30 %
• vaření brambor (výluh)	~ 25 %
• <b>konzervace nekyselých potravin SO<sub>2</sub></b>	<b>100 %</b>

## použití

### fortifikace (restituce)

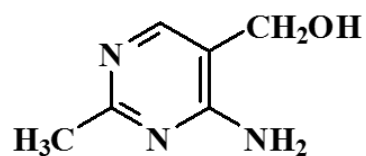
- pšeničné mouky
- cereální snídaně
- rýže

# reakce

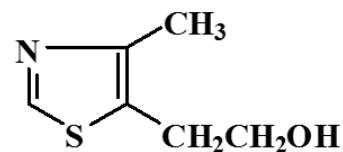


thiamin (volná báze)

thiaminasa II,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $-\text{H}^+$



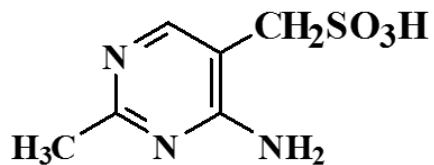
4-amino-5-hydroxymethyl-  
-2-methylpyrimidin



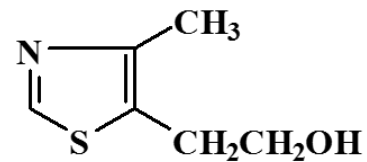
5-(2-hydroxyethyl)-  
-4-methylthiazol

---

$\text{HSO}_3^-$



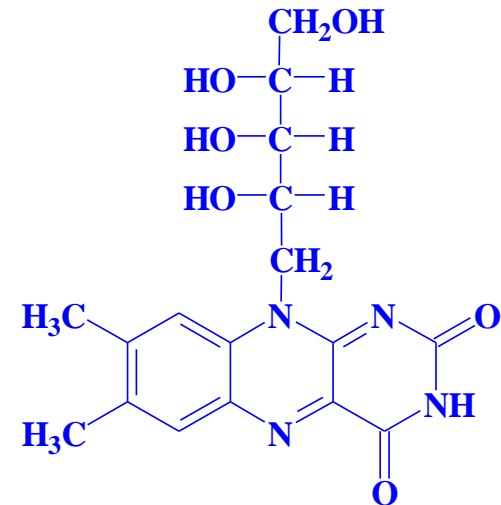
~sulfonová kyselina



5-(2-hydroxyethyl)-  
-4-methylthiazol

# riboflavin B<sub>2</sub>

oxidovaná forma (isoalloxazin, ribitol)



- volný
  - ox. forma flavochinon, red. forma flavohydrochinon (leukoflavin)
- vázaný (proteiny)
  - kofaktor flavoproteinů (flavinmononukleotid=FMN, FAD)
- další formy
  - 5'-fosfát (obecně), 5'-malonylriboflavin (oves) aj.

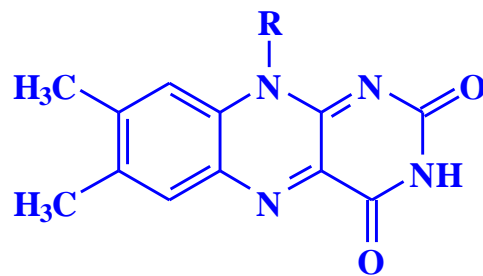
## zdroje (mg/100g)

- |         |                           |
|---------|---------------------------|
| • maso  | 0,2                       |
| • játra | 3                         |
| • mléko | 0,2                       |
| • sýry  | 0,5                       |
| • pivo  | 0,05 (rozdíl od thiaminu) |

## krytí potřeby (%)

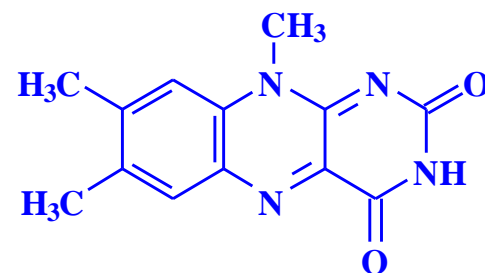
- mléko, sýry 36% hl. riboflavin, vazba na  $\alpha$ - a  $\beta$ -kasein
- maso 19% hl. FMN, FAD
- cereálie 15%
- vejce 8% hl. riboflavin
- zelenina 8%

reakce v nepřítomnosti světla stabilní  
fotodegradace



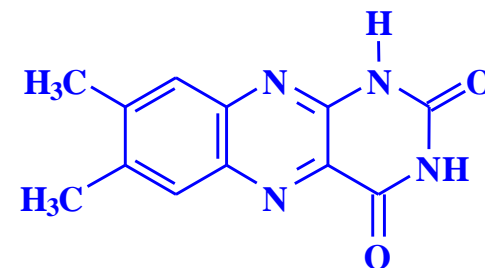
riboflavin (oxidovaná forma)

pH > 10



lumiflavin

pH < 8



lumichrom  
(+ málo lumiflavínu)

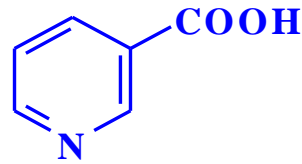
fotosenzibilizátor

- vznik <sup>1</sup>O<sub>2</sub> (singletového kyslíku)
  - destrukce vitamínu C, retinolu, Met
- mléko, víno: sluneční přípach

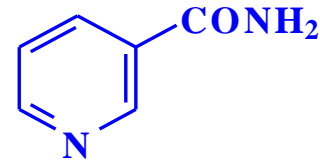
použití

- fortifikace
- barvivo → žlutozelená barva

## niacin B<sub>3</sub>

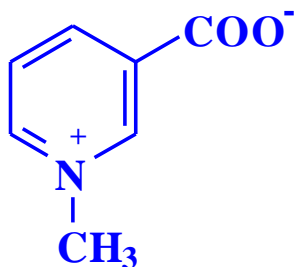


kyselina



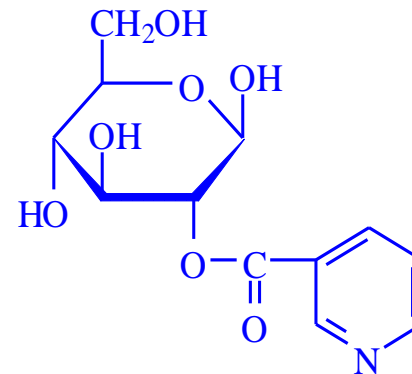
amid

- volný (kyselina-rostliny, amid-živočichové) málo
- vázaný (proteiny): NAD a NADP - kofaktory stovek enzymů
- jiné formy:



trigonellin

alkaloid (káva, luštěniny, obiloviny)



+ polypeptid

niacin vázaný na glykopeptidy

čirok, kukuřice

## zdroje (mg / 100 g)

- maso 5-15
- luštěniny, ovoce, zelenina 0,7-2
- vejce 0,1
- káva pražená 50
- káva nepražená 2

Mexiko - tortilla  
(z kukuřičné mouky  
+ vápenné mléko)



materiál	mg / kg volného vitamínu
syrová zrna	0,4
vařená ve vodě	3,8
vařená ve vápenném mléce	24,6 (100 %)

## krytí potřeby (%)

- maso 33 %
- mléko 13 %
- cereálie 21 %
- brambory 9 %

## reakce

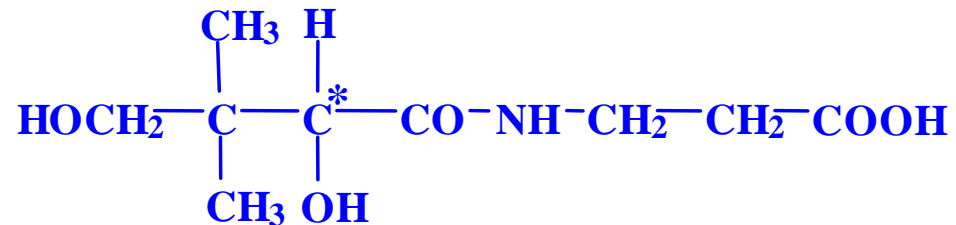
- omezená hydrolýza amidu, kyselina stabilní

## ztráty

- výluhem

# pantothenová kyselina B<sub>5</sub>

(*R*)-isomer



- volná forma
- vázaná -koenzym A (CoA), Acyl-Carrier Protein (ACP) – koenzym syntetas MK

## zdroje

- maso, ryby
- sýry (mléko málo)
- celozrnné cereální výrobky
- luštěniny
- ovoce, zelenina (málo)

## krytí potřeby (%)

dostatečné

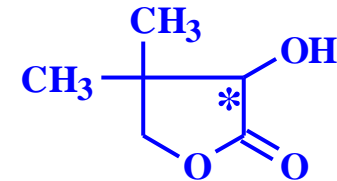
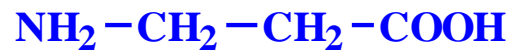
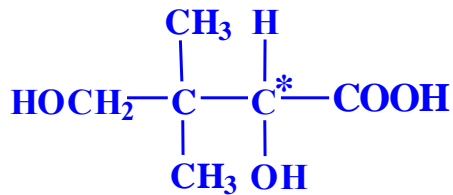
reakce stabilnější jen v pH 4-5

hydrolýza:

pantothenová kyselina

pH > 7

pH < 7



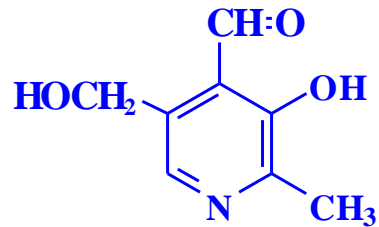
pantoová kyselina

β-alanin

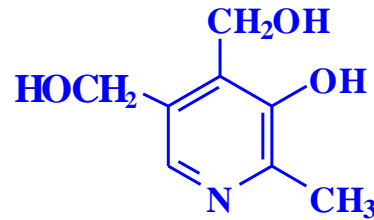
pantolakton



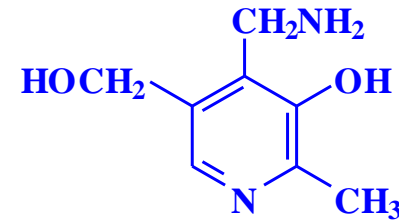
# pyridoxin B<sub>6</sub>



pyridoxal



pyridoxol



pyridoxamin

- volné látky
- jejich 5'-fosfáty
- 5-O-β-D-glukosid (5-70 % v cereáliích, ovoci, zelenině)

## zdroje

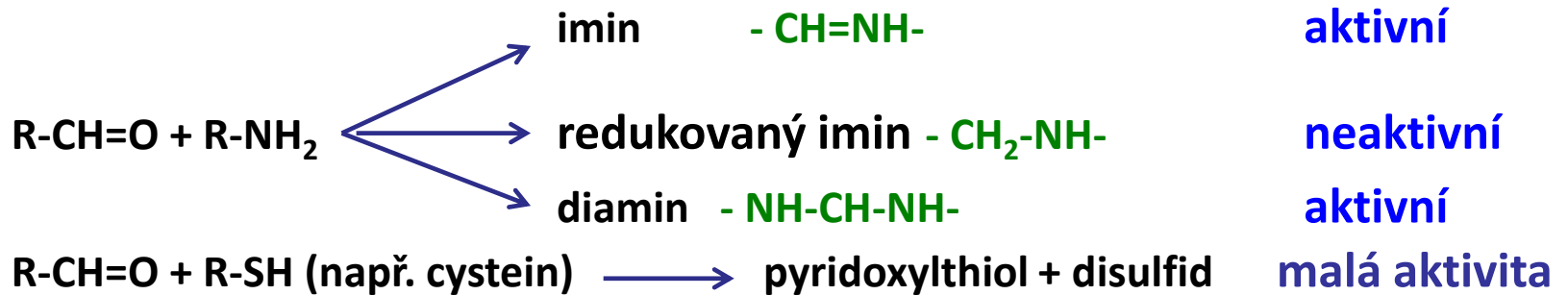
- živočišné potraviny: pyridoxal, pyridoxol      maso, žloutek
- rostlinné potraviny: pyridoxal, pyridoxamin      obilné klíčky

## krytí potřeby (%)

- |             |    |
|-------------|----|
| • maso      | 40 |
| • zelenina  | 22 |
| • mléko     | 12 |
| • cereálie  | 10 |
| • ovoce     | 8  |
| • luštěniny | 5  |

reakce - méně stálý v neutrálním a alk. pH

## Maillardova reakce



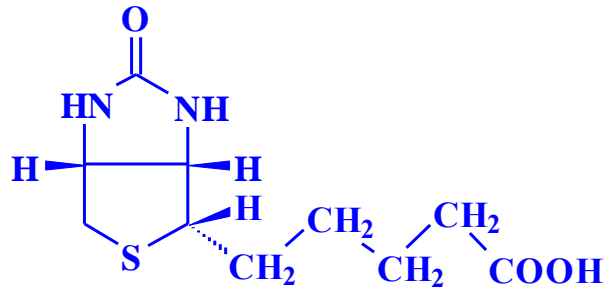
## ztráty

- sušené mléko 30-70%  
(reakce s Lys a Cys)

## použití

- fortifikace
- dětská výživa

# biotin H



**(+)-biotin, (3a*S*, 4*S*, 6a*R*)-isomer**

**biotin - prostetická skupina mnoha enzymů**

**zdroj - žloutek, vnitřnosti, cereální produkty celozrné, zelenina, droždí**

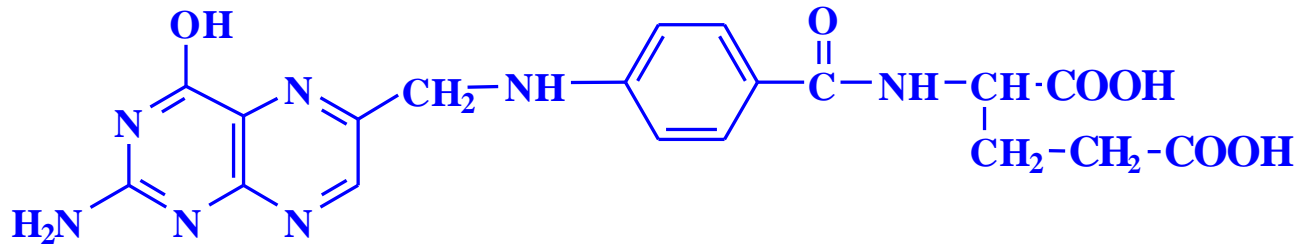
**deficience vzácná**

**při konzumaci extrémních množství syrových vajec (avidin)**

# folacin B<sub>c</sub>

deriváty pteroylglutamové (listové, folové) kyseliny

3-8 molekul Glu



pterovová

4-aminobenzoová

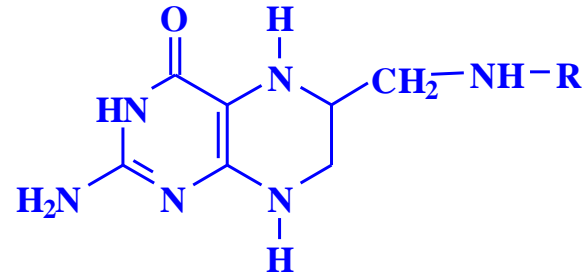
Glu

aktivní forma:

tetrahydrofolová k.

přenos jednouhlíkatých sk.

(metylová, (CH<sub>3</sub>-), formylová (-CHO))



ve výživě většinou nedostatkový vitamin    deficiencie = anémie  
hlavně listová zelenina, obiloviny, vnitřnosti, vejce

## korinoidy B<sub>12</sub>

substituovaný korinový cyklus s centrálním atomem kovu

4 pyrrolová jádra bez CH<sub>2</sub> můstku mezi A a D

centrální atom Co 6 koordinačních vazeb

5. koord. vazba -  $\alpha$  = 5,6-dimethylbenzimidazol

6. koord. vazba -  $\beta$  = OH hydroxykobalamin

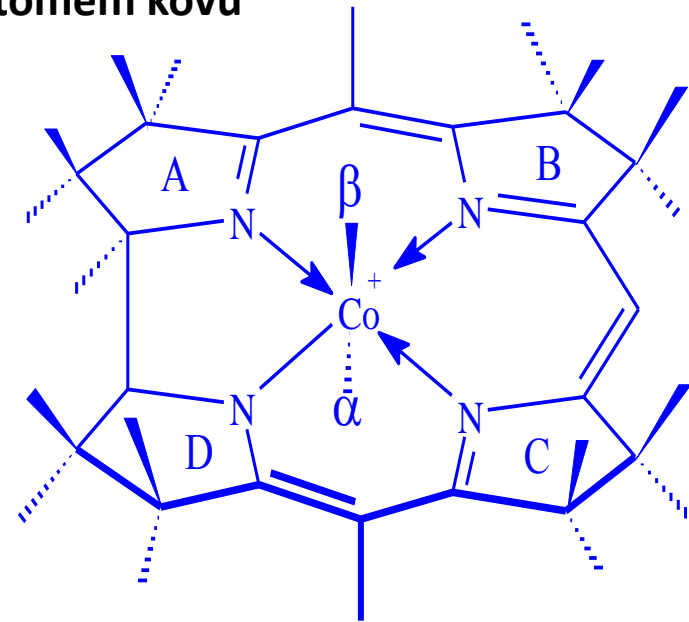
H<sub>2</sub>O akvakobalamin

CH<sub>3</sub> methylkobalamin

CN kyanokobalamin

koenzym B<sub>12</sub> - prostetická skupina řady enzymů

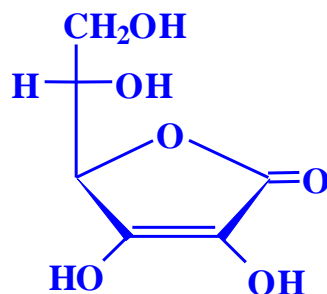
není přítomen v potravinách rostlinného původu



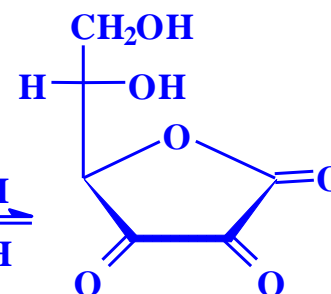
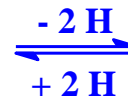
kobalaminy

# vitamin C (askorbová a dehydroaskorbová kyselina)

reversibilní redoxní systém

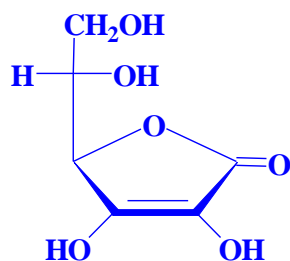


L-askorbová kyselina

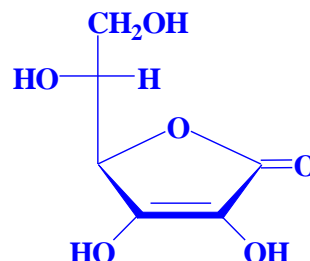


L-dehydroaskorbová kyselina  
produkt dvouelektronové oxidace

4 stereoisomery

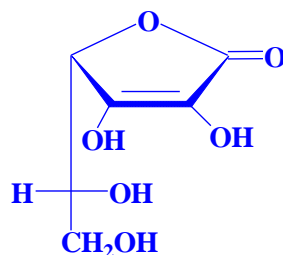


L-askorbová

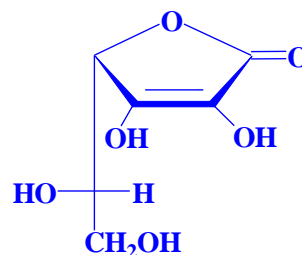


D-isoaskorbová

5-20 % aktivity

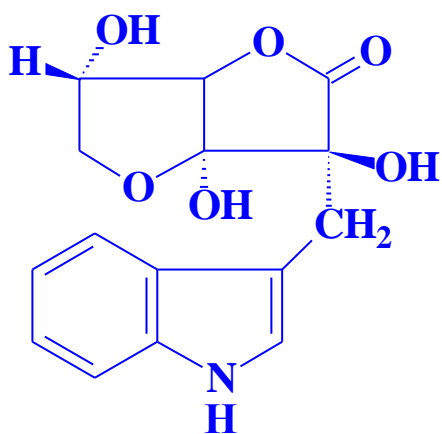


D-askorbová



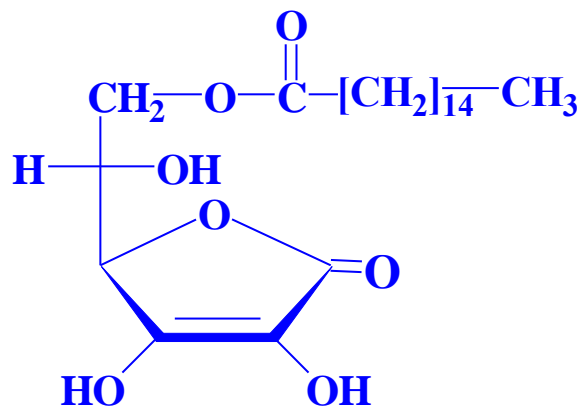
L-isoaskorbová

- volný
- vázaný
  - askorbigen v brukvovitých zeleninách
  - askorbyl-palmitát (antioxidant) E304 - tuky oleje, margaríny, cereální výrobky



**askorbigen**

15-20 % aktivity



**L-askorbyl-6-palmitát**

plná aktivita

## **zdroje**

### **ovoce**

	<b>(mg/kg)</b>
šípky	2 500-10 000
černý rybíz	1 100-3 000
jahody	400-700
citrusové ovoce	240-700
jablka	15-50

### **zelenina**

petržel kadeřavá	1 500-2 700
paprika	620-3 000
zelí	170-700
brambory	80-400

### **krytí potřeby (%)**

brambory	20-30
zelenina	30-40
ovoce	30-35
mléko	9

## **syntetizují**

- zelené rostliny (fotoautotrofní)
- část živočichů

## **vitaminem je pro:**

- člověka
- primáty
- morčata

**0,5-2 mg / 100 ml**



**acerola, barbadoská třešeň (*Malpighia emarginata*)**



**původ  
Střední Amerika**

**17-46 g/kg vitamínu C**

## reakce

- ztráty výluhem
- přítomnost O<sub>2</sub>: **enzymová oxidace a autooxidace**
- nepřítomnost O<sub>2</sub>: **degradace katalyzovaná kyselinami**  
ztráty celkem: 20-80 %

### enzymová oxidace

askorbát oxidasa, askorbasa, peroxidasy (v poškozených rostlinných pletivech)

výsledná reakce:

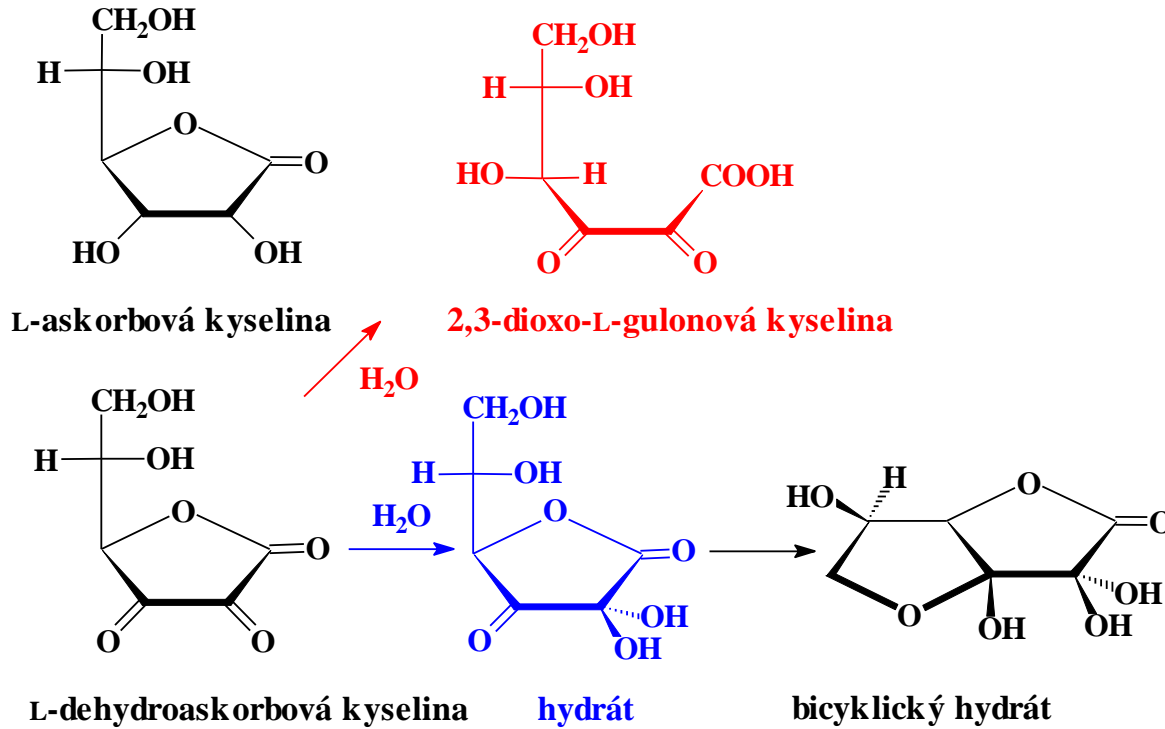


H<sub>2</sub>A= askorbová kyselina

A=dehydroaskorbová kyselina

# dehydroaskorbová kyselina - nestálá

hydrolýza v neutrálním a alk. pH



prevence: blanširování (předváření), redukce  $SO_2$

## autooxidace

katalyzovaná kovy:  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$

výsledná reakce:



mechanismus:



důsledky:

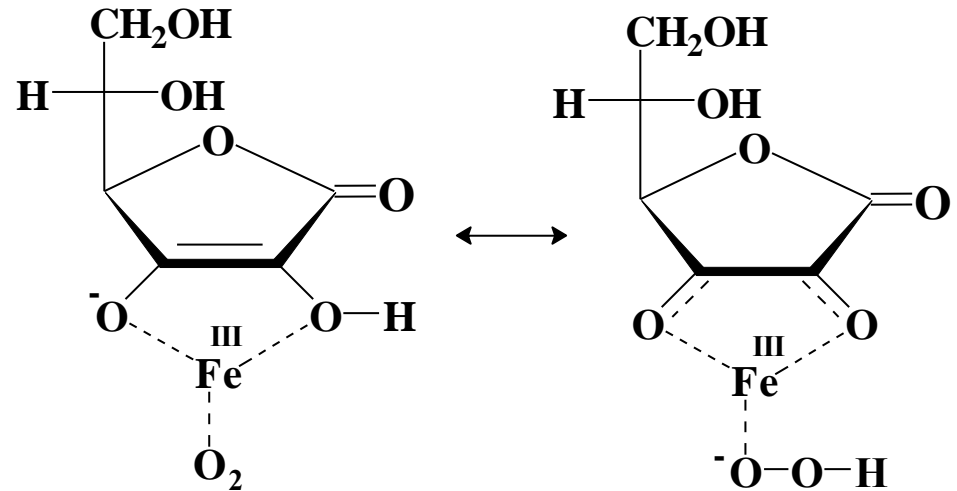
oxidace jiných složek  $\text{H}_2\text{O}_2$  (myoglobin, lipidy, anthokyany)

prevence:

- kontakt s  $\text{O}_2$  (vzduchem)  
inertní atmosféra, deaerace, gluksoxidasa+katalasa,  $\text{HSO}_3^-$ , kvašení
- snížení obsahu  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$   
chelatační činidla

nepříznivé podmínky (nižší  $a_w$ , pH)

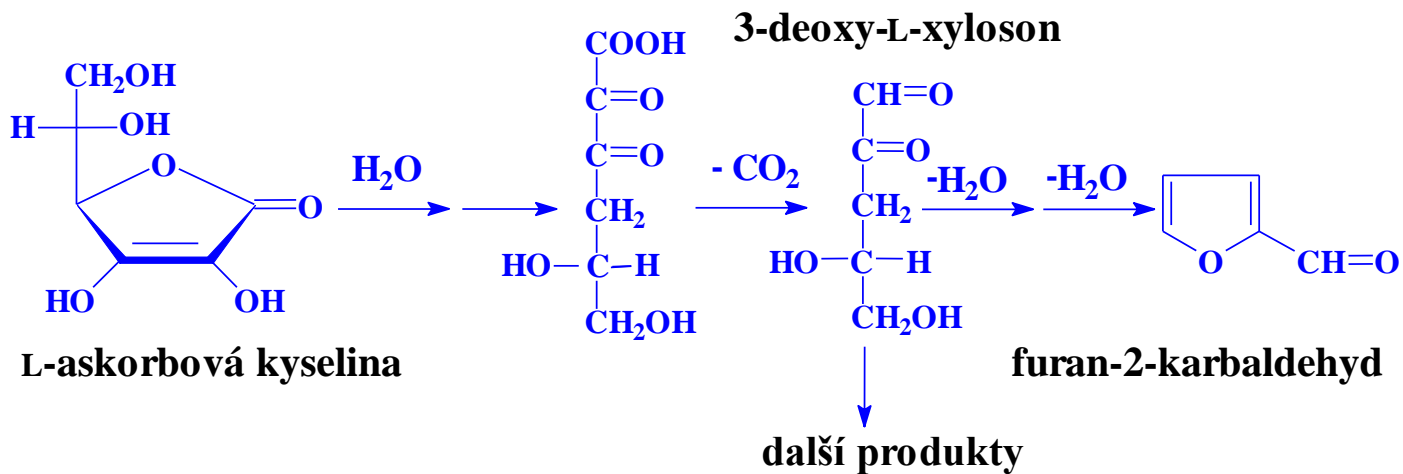
ternární komplex



## degradace katalyzovaná kyselinami

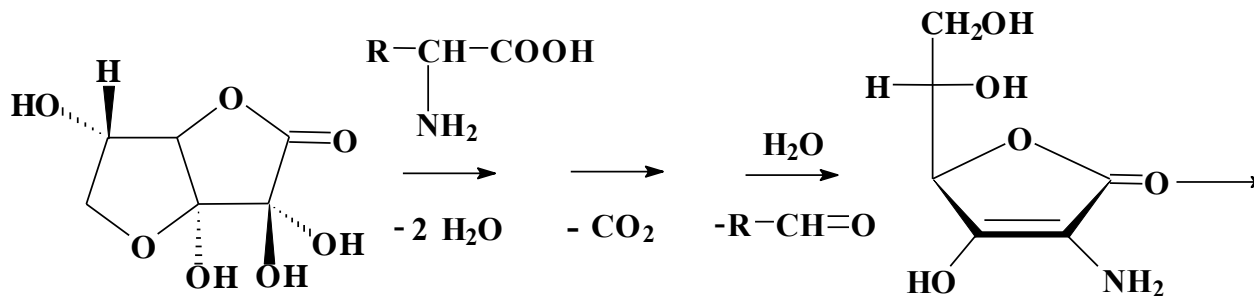
nižší rychlost než u katalyzovaných reakcí

max. = pH 4, min. = pH 2



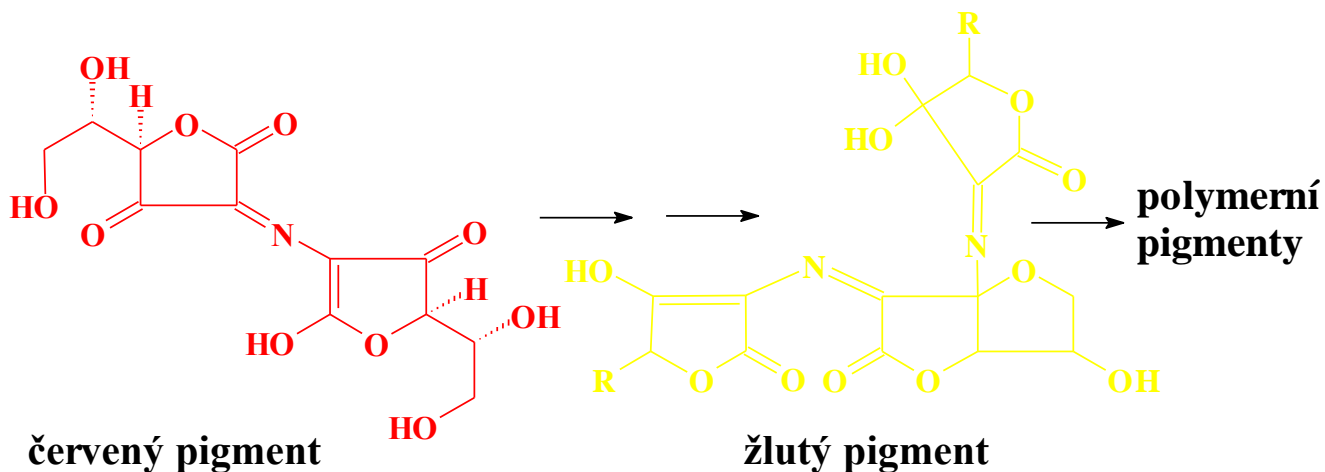
# reakce s aminokyselinami

## význam v konzervárenství



hydrát  
L-dehydroaskorbové kyseliny

L-korbinová kyselina



červený pigment

žlutý pigment

polymerní pigmenty

## použití

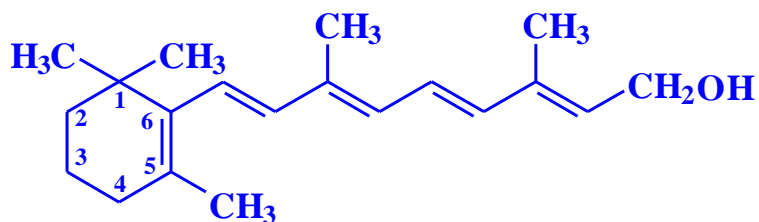
- vitamin
- antioxidant
- chelatační činidlo

## technologie:

- konzervařenská (prevence změn aróma, barvy, odstranění O<sub>2</sub>, inhibice hnědnutí)
- kvasná (prevence zákalů)
- masa (zkvalitnění a urychlení výroby, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) + inhibuje tvorbu nitrosaminů
- tuků (antioxidant)
- cereální (vznik disulfidů bílkovin v těstě)

# vitamin A

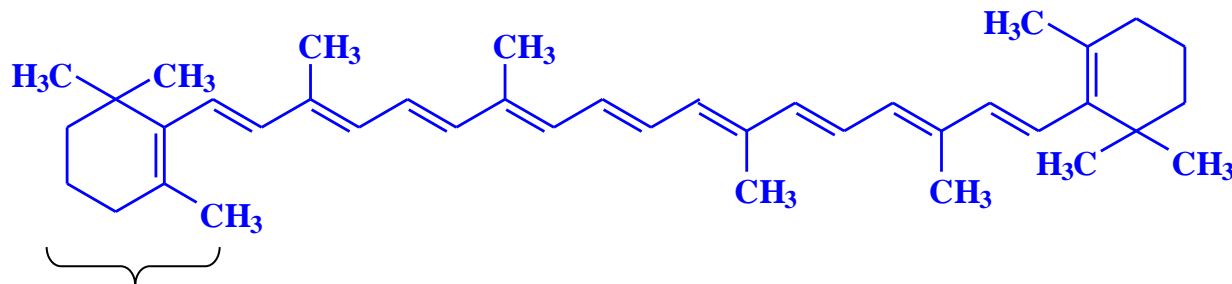
retinol



all-*trans*-retinol

vitamin A<sub>1</sub> (**diterpen**)

provitaminy A (retinoidy, isoprenoidy)



$\beta$ -karoten

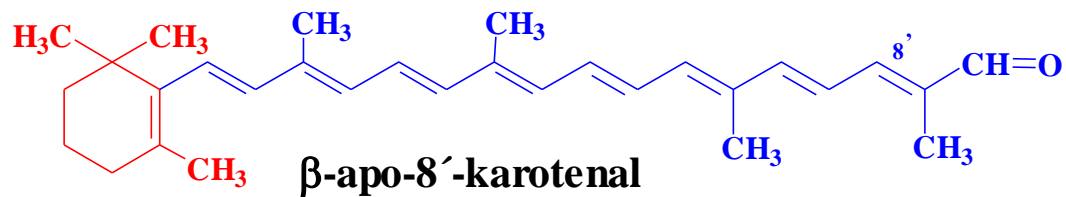
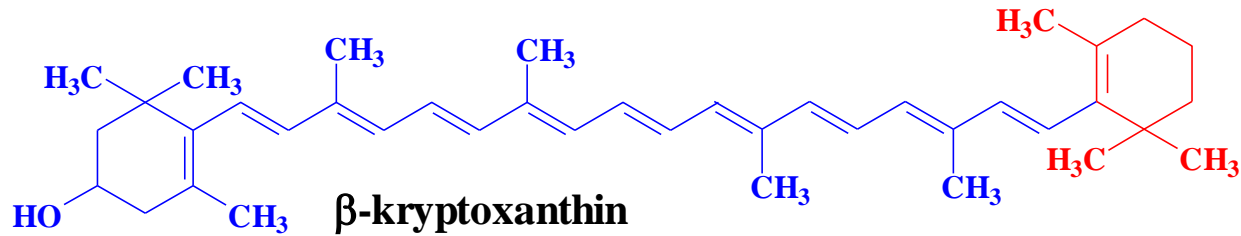
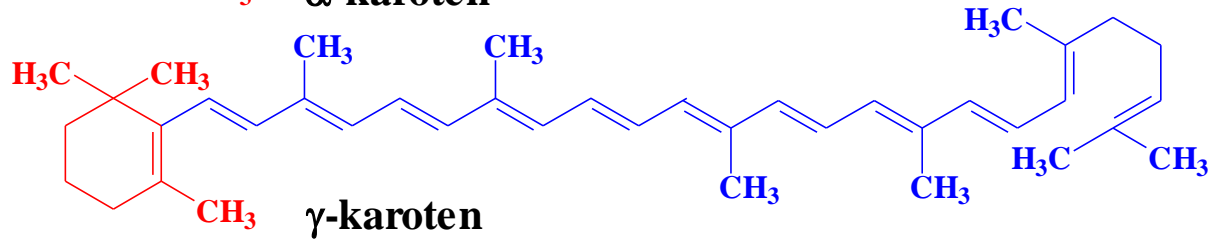
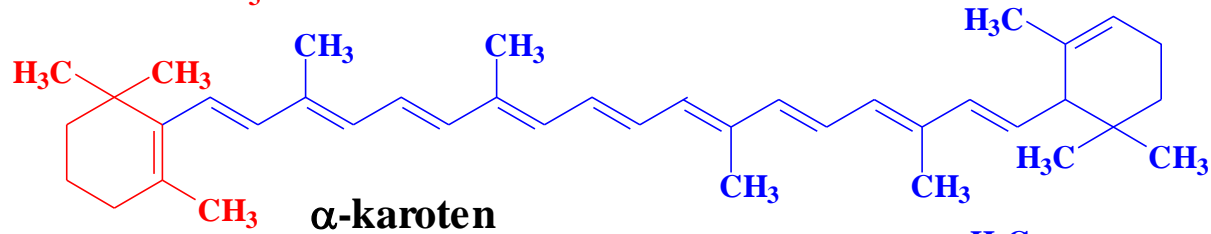
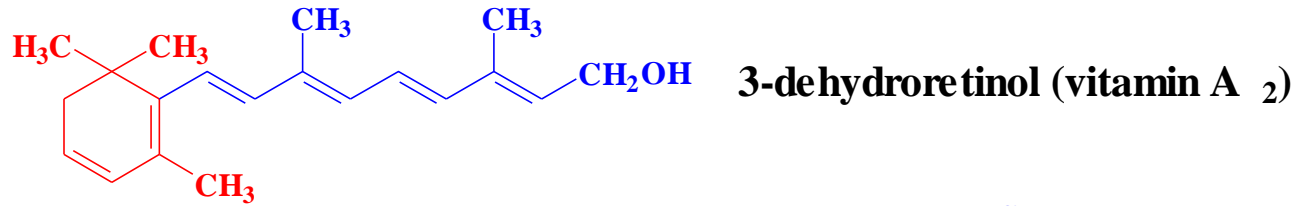
(**tetraterpen**)

**$\beta$ -iononový cyklus**

**další aktivní látky** (50 přírodních + 2500 syntetických derivátů)

- 3-dehydroretinol (vitamin A<sub>2</sub>)
- $\alpha$ -karoten
- $\gamma$ -karoten
- kryptoxanthin aj.





## zdroje (mg/kg)

- **živočišné materiály (retinol / provitaminy A)**

maso	0,1 / 0,4
játra	30-400 / 300
máslo	5-10 / 4-8
rybí jaterní tuky, margarín	

- **rostlinné materiály (provitaminy A)**

mrkev	20-95
špenát	50-480
meruňky	6-20

## krytí potřeby (%)

• játra	23	estery, hlavně C <sub>16:0</sub>
• máslo	17	
• mléko, smetana	15	
• mrkev	14	
• margariny	9	retinyl-acetát, retinyl-palmitát

**reakce** nestálé (především na světle, oxidace vzdušným O<sub>2</sub>)

isomerace  $\xrightarrow{\text{světlo}}$  hlavně 13-*cis* a 9-*cis*

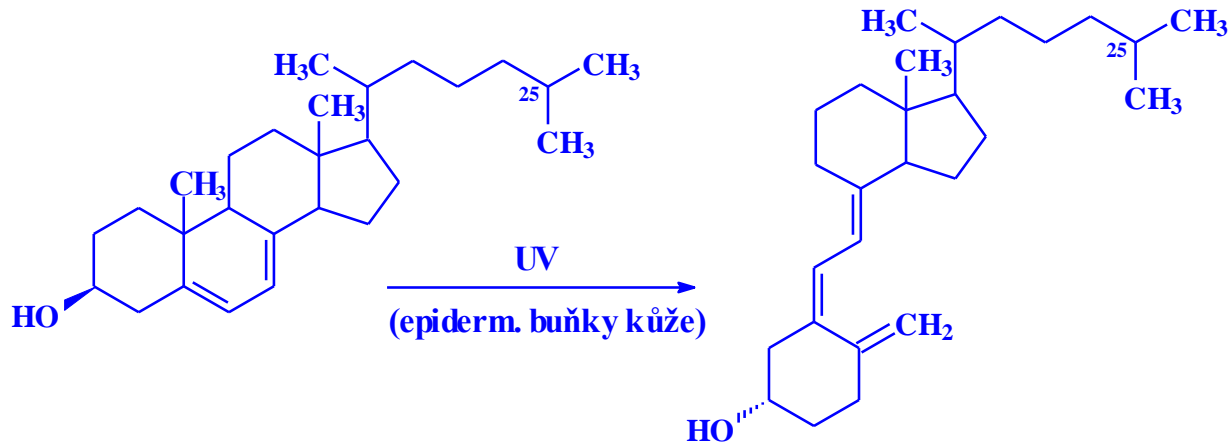
oxidace  $\xrightarrow{\text{kovy, radikály}}$  oxidace -CH<sub>2</sub>OH  
štěpení řetězce β-iononového cyklu  
(epoxydy)

reakce s volnými radikály působí jako antioxidanty

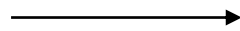
# vitamin D (kalciferoly)

9,10-sekosteroidy

## cholekalciferol (vitamin D<sub>3</sub>)



7-dehydrocholesterol  
(provitamin D<sub>3</sub>)



cholekalciferol  
(vitamin D<sub>3</sub>)

ergosterol  
(provitamin D<sub>2</sub>)



ergokalciferol  
(vitamin D<sub>2</sub>)

## zdroje ( $\mu\text{g} / \text{kg}$ )



rybí jaterní tuky, margarín

## krytí potřeby (%)

margarín	34
tučné ryby	17
vejce	16
mléko, smetana	12
máslo, sýry	9

vyšší houby, plísně (sýry)

## reakce

autooxidace  $\xrightarrow{\text{O}_2}$  alkoholy, ketony

pyrolýza  $\xrightarrow{\Delta}$  pyro- a isopyrovitaminy D

isomerace  $\xrightarrow{\text{H}^+}$  isovitaminy D a isotachysteroly

fotodegradace  $\xrightarrow[\text{UV}]{\text{záření}}$  vitaminy D z provitaminy D  
(tachysteroly, lumisteroly aj.)

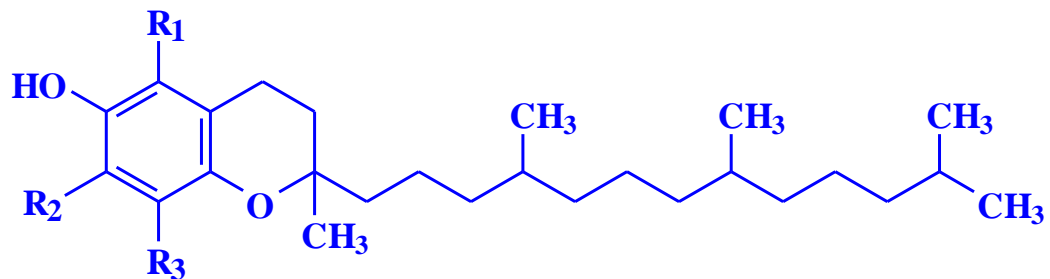
## použití

### fortifikace

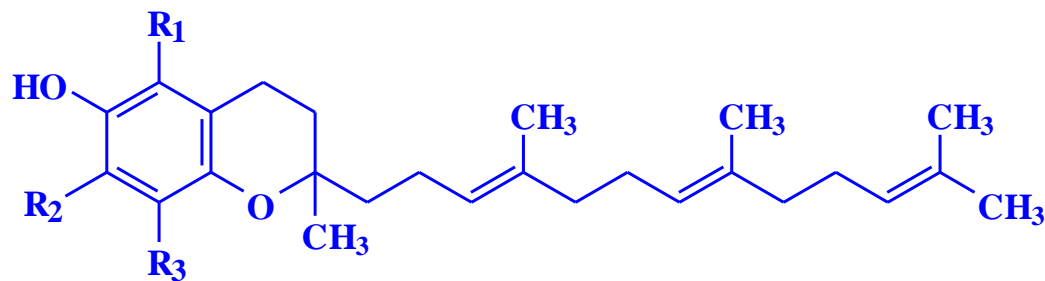
- margariny
- mléko
- cereální snídaně

# vitamin E (tokoferoly a tokotrienoly)

6-hydroxychromany, fytol (C<sub>20</sub>), tokol



tokoferoly (*R,R,R*-isomery)



tokotrienoly (*trans*-isomery)

derivát	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
α-	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>
β-	CH <sub>3</sub>	H	CH <sub>3</sub>
γ-	H	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>
δ-	H	H	CH <sub>3</sub>

## zdroje (mg / 100 g)

- rostlinné oleje 50-200
- části rostlin < 0,5
- živočišné potraviny málo

## olej

% vitaminu E	$\alpha$ -T	$\beta$ -T	$\gamma$ -T	$\delta$ -T	$\Sigma$ TT
sójový	11	-	66	23	-
kukuřičný	18	-	81	1	-
pšeničných klíčků	60	34	-	-	6

aktivita vitaminu:  $1,00$   $0,27$   $0,13$   $0,01$   $0,30$   
 $\alpha$ -T >  $\beta$ -T >  $\gamma$ -T >  $\delta$ -T  $\alpha$ -TT

antioxidační účinky:  $\delta$ -T >  $\gamma$ -T >  $\beta$ -T >  $\alpha$ -T  
(vitamin E a Se)

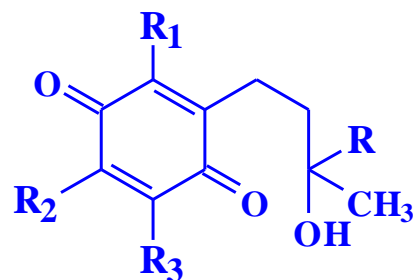


# potřeba vitamínu E v závislosti na obsahu nenasycených mastných kyselin v potravě

mastné kyseliny	$\alpha$ -tokoferol (mg / g mastných kyselin)
monoenuvé	0,09
dienové	0,60
trienové	0,90
tetraenuvé	0,12

reakce  
oxidace

T



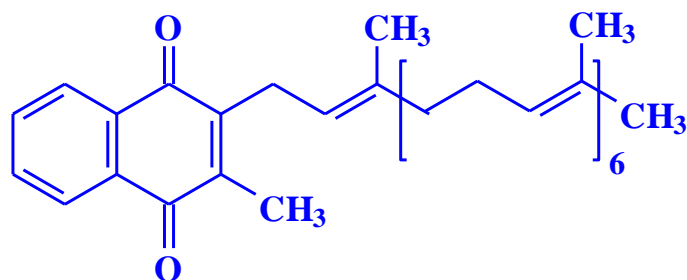
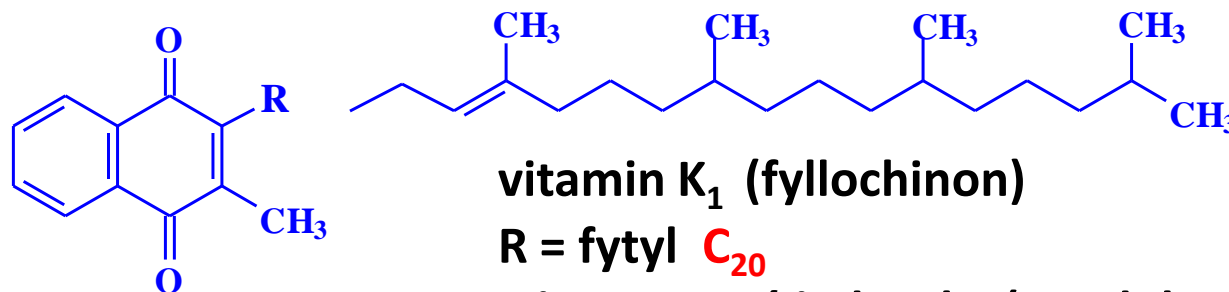
dimery aj. produkty

**tokoferylchinon (plná aktivita)**

# vitamin K

struktura podobná struktuře koenzymů Q, 1,4-naftochinon  
terpenoidní řetězec (fytol C<sub>20</sub>)

základní látka **menadion**



vitamin K<sub>2</sub> (farnochinon)

**mikroflora zažívacího traktu**

7 isoprenových jednotek (běžně 4-10, dokonce 0-13)

(30 atomů C = difarnesyl), dnes: .....3-multiprenyl-

## zdroje

(mg / 100 g)

listová zelenina (zelí, špenát)

3-4

hrášek, rajčata (maso včetně jater)

0,1-0,4

mléko

0,002-0,02

játra vepřová

K<sub>1</sub>, MK-4, MK 7-10

## reakce

fotodegradace  $\xrightarrow{\text{UV}}$

oxidace  $\xrightarrow[\text{OH}]{\text{O}_2}$  epoxidy (2,3-epoxidy)

## další biologicky aktivní látky

hlavně vitaminy skupiny B (B-komplexu)

B<sub>8</sub>, B<sub>4</sub>

adenylová kyselina (adenin)

B<sub>13</sub>

orotová kyselina

B<sub>15</sub>

pangamová kyselina

B<sub>t</sub>

karnitin

B<sub>x</sub>, H<sub>1</sub>

4-aminobenzoová kyselina

lipoová kyselina

F

esenciální mastné kyseliny

P

rutin (bioflavonoidy)

U

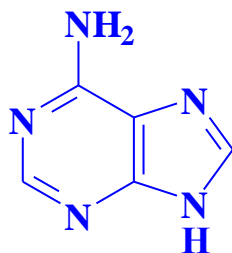
S-methylmethionin

cholin

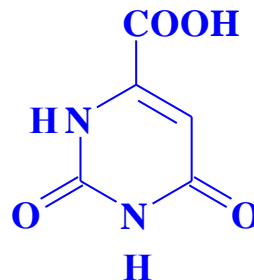
*myo*-inositol

taurin

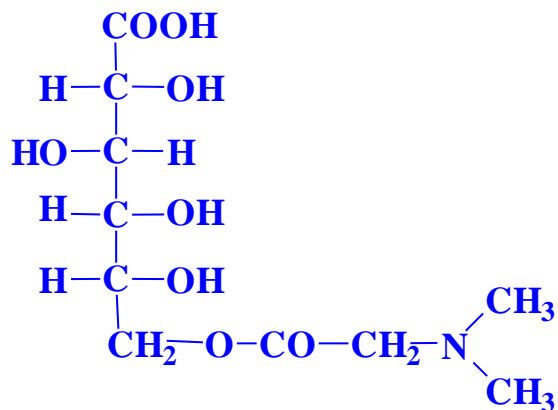
koenzymy Q



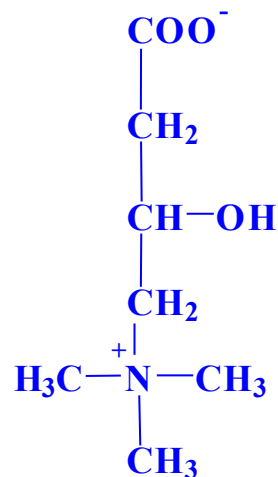
**adenylová kyselina**



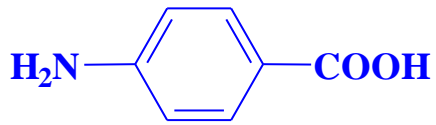
**orotová kyselina**



**pangamová kyselina**



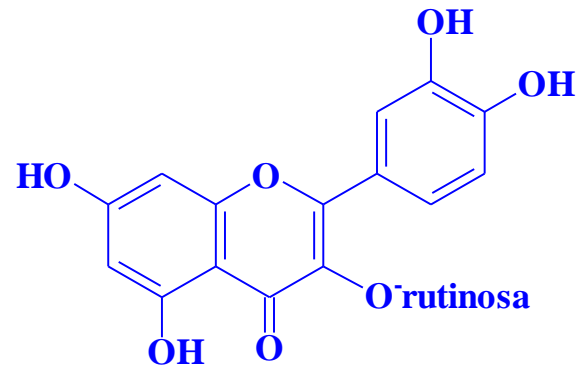
**karnitin**



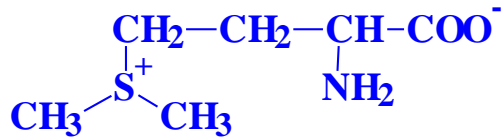
4-aminobenzoová kyselina (H<sub>1</sub>)



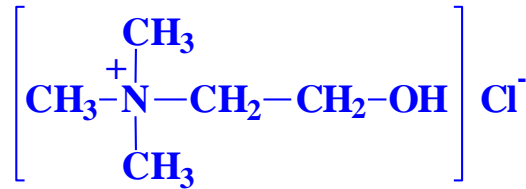
lipoová kyselina



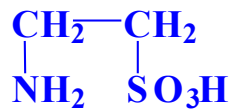
rutin (P) (kvercetin-3-β-rutinosid, rutinosa = rhamnosa, glukosa)



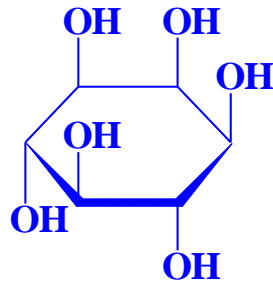
**S-methylmethionin**



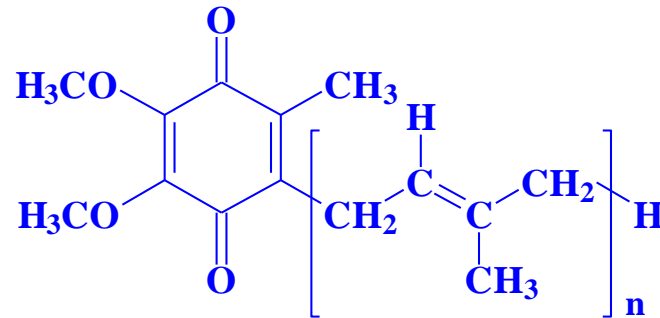
**cholin**



**taurin**



**myo-inositol**



**koenzymy Q**