

# **Mastné kyseliny ve vybraných netradičních tucích a olejích**

JP

**Tento výukový materiál je autorským dílem, které je chráněno autorským právem  
VŠCHT Praha.**

**Některé části přednášky vycházejí z autorských děl třetích osob, která VŠCHT Praha  
užívá pro účely výuky svých studentů na základě zákonné licence.**

**Obsah této přednášky je určen výlučně pro výuku studentů VŠCHT Praha.**

**Obsah přednášky nesmí být rozmnožován, zaznamenáván, napodobován, publikován  
ani jinak rozšiřován bez písemného souhlasu majitele autorských práv.**

Autorské právo neporušuje ten student VŠCHT Praha, který výlučně pro svou osobní  
potřebu zhotoví záznam či napodobeninu díla nebo užije dílo jiným způsobem, který dle  
zákona autorské právo neporušuje.

**© VŠCHT Praha 2020**

## Tuky - doporučení

Tuky 20 – 35 % E

SFA co nejméně ( $\leq 33$  % tuků)

*(n-6 : n-3 PUFA 5 :1)*

**Realita** – vyspělé země

Tuky  $\sim 40$  % E

SFA  $\sim 50$  % tuků

n-6 : n-3 PUFA 15 :1 (možná více)

## PUFA

L 4% E ALA 0,5 % E EPA + DHA 250 mg

**Obtížná přeměna** linolenové kyseliny (ALA) na EPA a DHA

Muži x ženy

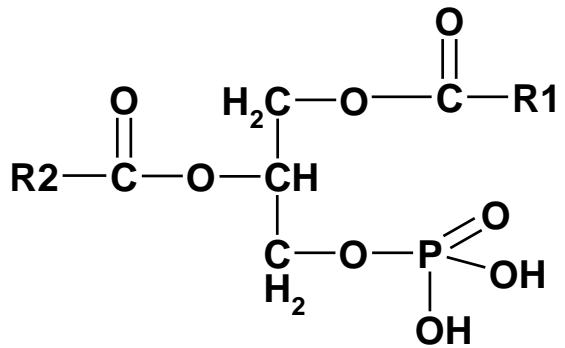
# Esenciální mastné kyseliny

- Polyenové kyseliny – 2 a více dvojných vazeb
- Řada linolové kyseliny n-6 ( $\omega$ -6) – poslední = vazba na 6. uhlíku od konce
- Řada linolenové kyseliny n-3 ( $\omega$ -3) – na 3. uhlíku od konce)

## Funkce

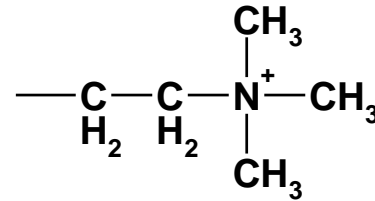
- Plasmatické lipoproteiny – nejsou nutraceutika
- Fosfolipidy – biomembrány
- Syntéza eikosanoidů – tkáňové hormony – rozdíl n-6 a n-3

# Fosfolipidy

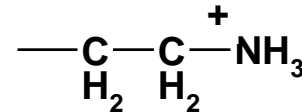


Fosfatidová kyselina

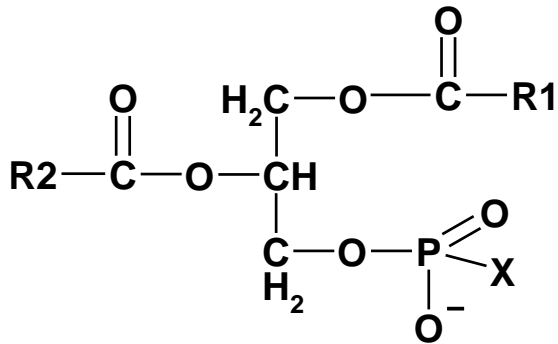
X =



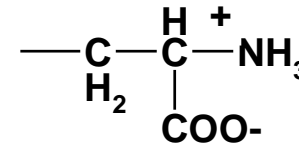
cholin



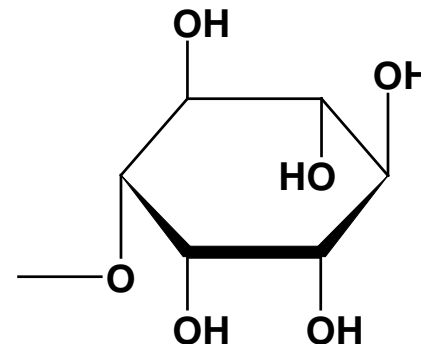
ethanolamin



Fosfatidyl -



serin



inositol

# Fosfolipidy

Fosfatidová kyselina

1,2-diacylglycerol-3-fosforečná kyselina

## Složení mastných kyselin

**Rostlinné:** L (50 a více %); C2, C1

O (~ 20 %); C1, C2

P (~ 15 %); C1

**Živočišné:** O (45 – 60 %) C2, C1

P (20 – 35 %) C1

S (4 – 15 %) C1

L (do 5 %) C2

## Doplňky

Lecithin - směs fosfolipidů s převažujícím fosfatidylcholinem

podíl sacharidů, proteinů, TAG aj.

Sojový lecithin; cena; (alergenní protein P34)

Vaječný lecithin (žloutek – F až 28 % sušiny)

Syntetické F - fosforylace triacylglycerolů – vznik fosfatidových kyselin

Trávení – fosfolipasy - fosfatidylglycerol

Syntéza v organismu z prekurzorů (fosfát, MAG, DAG, cholin, myo-inositol)

# Funkce

- Lipoproteiny

LDL 20 – 25 %

HDL ~ 30 %

Zvyšování rozpustnosti LDL

- Buněčné a vnitrobuněčné membrány – hlavně zárodečná a nervová tkáň
- F-ethanolamin – akceptor  $\text{CH}_3$ - skupin – metabolismus homocysteinu – transferasy + tetrahydrofolát (listová kyselina)
- Emulgátory v potravinách (instantní výrobky – mléko, pudinky ....)



# Eikosanoidy

## Leukotrieny

Oxidace C20 kyselin lipoxygenasami – hydroperoxydy

Následná redukce hydroperoxidu na hydroxy sloučeninu

Regulátory imunitního systému

- Aktivní pohyb leukocytů
- Mediátory zánětlivých reakcí
- 15-HETrE a leukotrieny od n-3 protizánětlivé
- LTB4 a další leu od arachidonové kyseliny prozánětlivé

## Thromboxany

Cyklooxygenasy → cyklické peroxidy → ethery

Regulace tvorby krevních destiček - srážlivost

TxA1 (od DGLA) inhibuje; TxA2 aj. (od Arn) stimulují

# Eikosanoidy

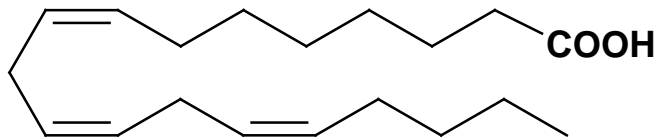
## Prostaglandiny

Cyklooxygenasy → cyklické peroxidy → ethery

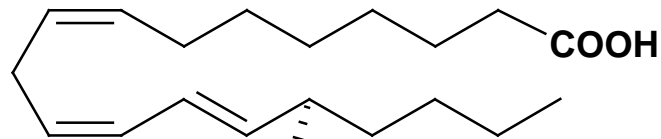
Různé biologické funkce

- Mediátory zánětlivých reakcí – rozdíl n-6 (kromě DGLA) a n-3 (jako u leukotrienů)
- Ochrana žaludeční sliznice proti HCl
- Kontrakce hladkého svalstva
- Kontrakce dělohy – oplodnění
- .....

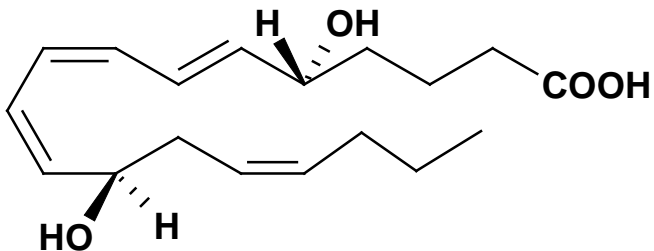
# Eikosanoidy



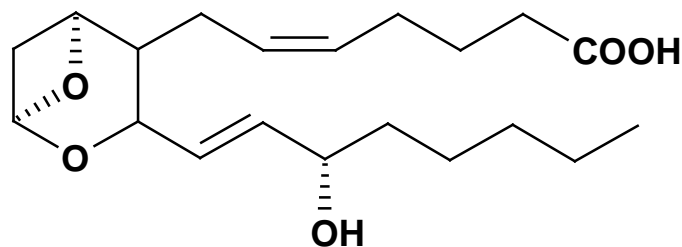
DGLA



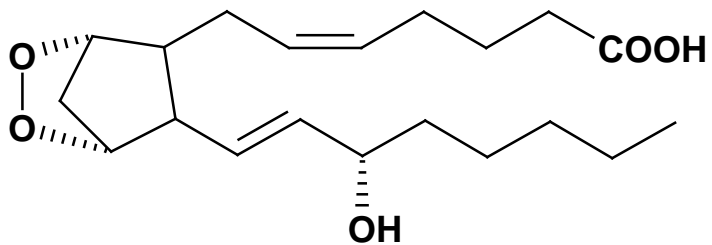
15-HETE



leukotrien B4



thromboxan A2



prostaglandin H2

# PUFA v organismu

- Ln, ALA - TAG plasmatických lipoproteinů
- fosfolipidy plasmatických lipoproteinů
  - fosfolipidy membrán (okrajově)
  - TAG rezervních tuků - minimálně (obsah v Ln sádle obvykle do 10 %, obsah ALA pod 1%)

GLA, DGLA, Arn EPA, DHA

- fosfolipidy membrán
- fosfolipidy plasmatických lipoproteinů  
(okrajově)

# PUFA v potravě

- Linolová kyselina – běžné rostlinné oleje (SO až 70 %, RO okolo 20 %, OO, PO ~ 10 % .....
- GLA – jen speciální oleje >>>>
- DGLA – prakticky není
- Arn – maso, vejce
- Linolenová kys. – řepka, sója, len
- Stearidonová kys. – hadinec >>>>
- EPA, DHA – ryby, řasy (vejce)

# Esenciální mastné kyseliny n-6

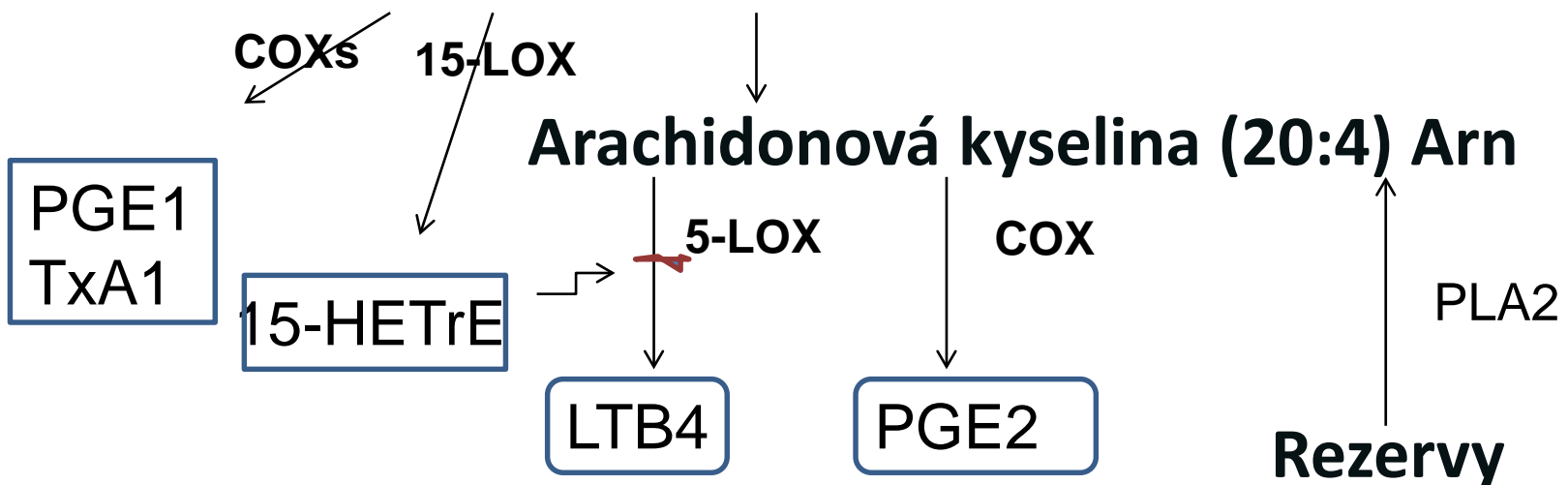
## Linolová kyselina (18:2) Ln

**Inhibice:** věk, KVO, stres, diabetes 2, kouření, alkohol  
 $\Delta$ -6 desaturasa rostliny ???

## $\gamma$ -Linolenová kyselina (18:3) GLA

elongasa rostliny X

## Dihomo- $\gamma$ -Linolenová kyselina (20:3) DGLA



# n-3 PUFA

## Schválená zdravotní tvrzení (EU) pro ALA, EPA & DHA

Tvrzení	Příjem dané PUFA
ALA přispívá k udržení normální hladiny krevního cholesterolu	2 g/den
DHA přispívá k udržení normální funkce mozku	250 mg/den
DHA přispívá k udržení normální funkce zraku	250 mg/den
DHA a EPA přispívají k udržení normálního krevního tlaku	3 g/den ( $\leq 5$ g/den)
DHA a EPA přispívají k udržení normální hladiny krevních triacylglycerolů	2 g/den ( $\leq 5$ g/den)
EPA a DHA přispívají k udržení normální funkce srdce	250 mg/den
Příjem DHA přispívá k normálnímu vývoji dětí od 1 roku věku	100 mg /den
Příjem DHA u těhotných a kojících žen přispívá k normálnímu vývoji zraku a mozku plodu a kojence	250 mg EPA+DHA /den

# **n-3 PUFA** guidelines & claims

## **Linolenová kyselina (ALA)**

**0,5 % energie / den**

Denní příjem E  $\approx$  8000 kJ

0,5 % E  $\approx$  1 g ALA  $\approx$  10 g řepkového ol. / 2 g  
Iněného ol. / 10 g vlašských ořechů

Ostatní oleje a ořechy  $\rightarrow$  0 ALA



# n-3 PUFA guidelines & claims

## EPA + DHA

**250 mg / den**

Losos 10 – 20 g

Sleď konz. 6 – 10 g

Sleď chlaz. ≈ 3 g

Makrela 5 – 15 g

Sardinky 6 – 10 g

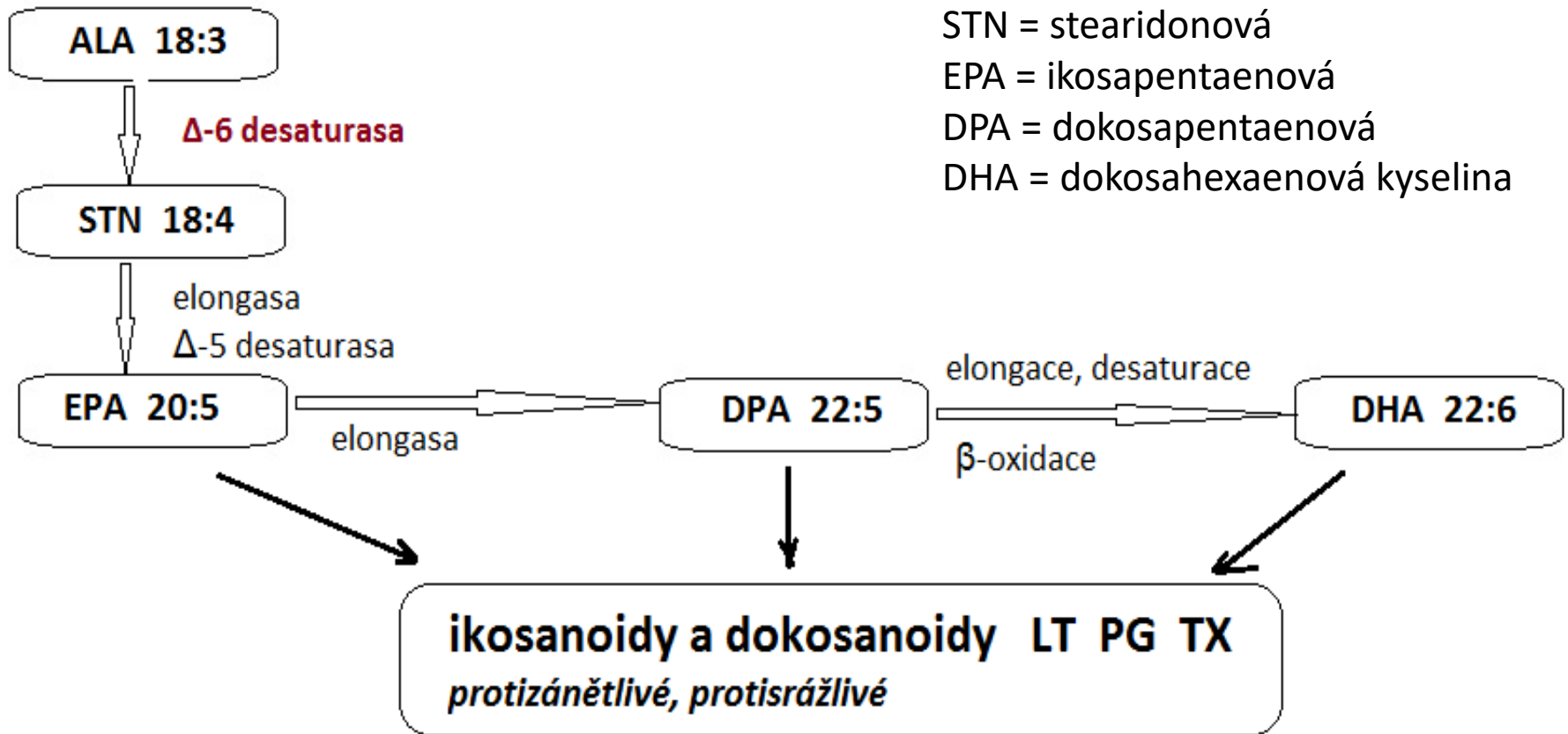
Tresčí játra 2 g

Kapr 200 g pangas 500 g treska 400 g

Tuňák 200 – 2000 g

EPA + DHA **2 g / den** – při našich nutričních zvyklostech se ze stravy již nedá splnit - suplementy

# n-3 PUFA - syntéza v organismu



# n-3 PUFA

## Esenciální funkce

Ikosanoidy a dokosanoidy z EPA a DHA (DPA)

Prokázán významný protizánětlivý efekt DHA – při příjmu min. 2 g / den → PZLU (např. ProSure)

**Doporučení EFSA**                      250 mg EPA+DHA / den

## Konverze ALA na EPA/DHA

- Slabá; rozdíly v datech 0,1 – 20 %
- Těhotné ženy – až **40 %**
- Věk ↓; Ž > M
- Kritický krok pro efektivitu – **Δ-6 desaturasa**
- Snaha obejít tento krok – dietární příjem STN a/nebo EPA/DHA

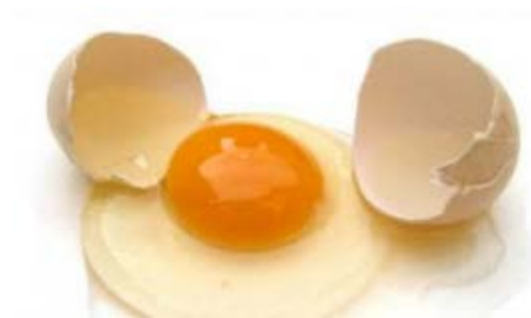
# n-3 PUFA

## Zdroje n-3 PUFA

ALA: oleje – řepka (len, sója, konopí...), některé ořechy - vlašské

STN: *Boraginaceae* !?! – Novel Food; GMO

EPA, DHA: ryby (losos, sled', sardinka ...), rybí olej, (vejce), řasy – Novel Food, (GMO)

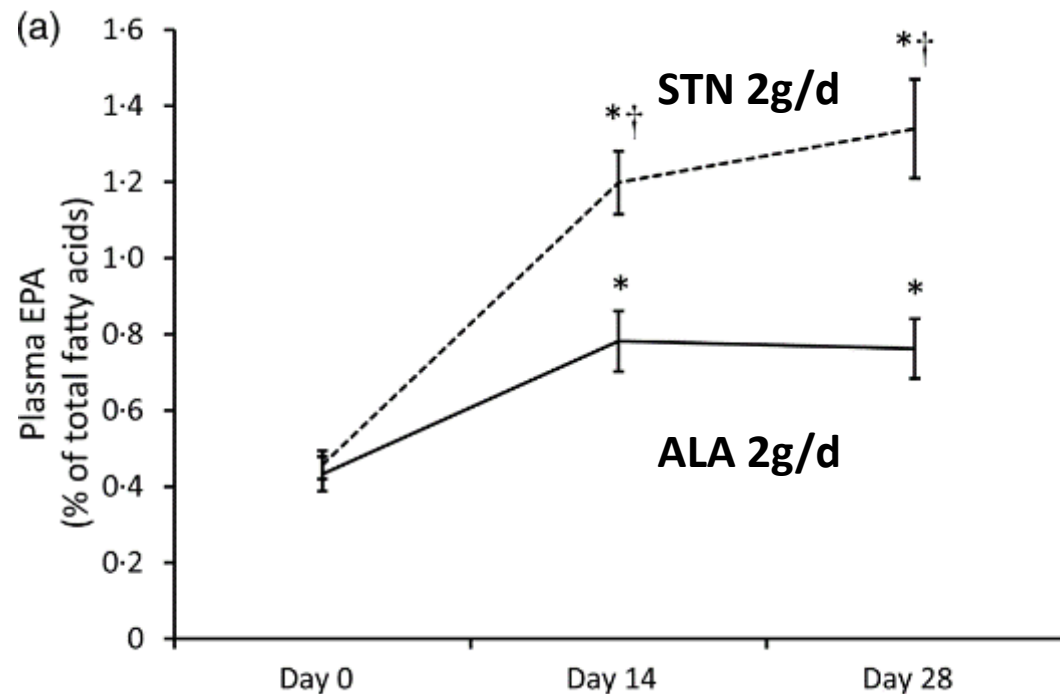


# n-3 PUFA - Syntéza EPA v závislosti na příjmu prekurzoru

## *Problematika $\Delta$ -6 desaturasy*

Studie vlivu suplementace PUFA na obsah EPA (% všech FA) v LP krevní plasmy

(2 skupiny, n=100; 25-35 let;  
normální BMI, glykemie,  
lipemie;  
isokalorická dieta +  
suplementace 2 g ALA nebo STN)



Přibližně 3x vyšší nárůst u STN

(Lefort et al., Journal of Nutritional Science (2016), vol. 5, e2, page 1 of 12;  
doi:10.1017/jns.2015.34)

# **Dietární zdroje n-3 a n-6 PUFA**

## Řepkový olej - Canola

Poměr n-6 / n-3 asi 2 : 1

Nízký obsah SFA do 10 %

Ale:

- Další široce používaný vhodný olej není
- Sám situaci asi nevyřeší

## Řešení

Netradiční oleje s vysokým obsahem ALA; řasy s EPA a DHA; **ryby**

## Suplementy

Rybí oleje (sardinky, ančovičky ....) → **řasy**

# Pupalka dvouletá (*Oenothera biennis*)

- Země mírného pásma – i okrasná rostlina



SFA 8 %

MUFA 7 %

Ln 74 %

**GLA 10 %**    **ALA < 1 %**

**Poměr n-6 / n-3    7 : 1**

Tokoferoly – jen stopy



# Brutnák lékařský (*Borago officinalis*)

UK, Holandsko, Polsko, Kanada, NZ

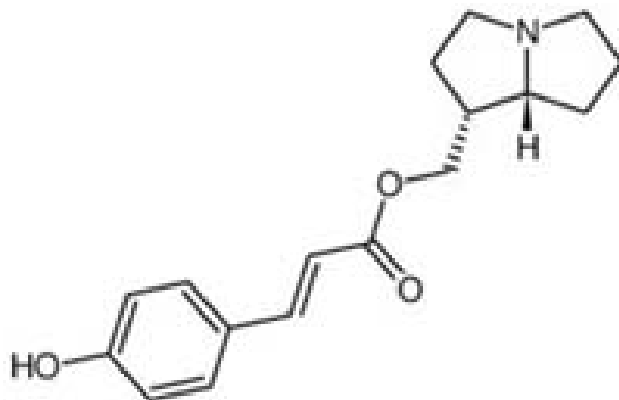


## Brutnákový olej – mastné kyseliny

Nasyčené SFA (C16 + C18)	14 %
Olejová kyselina OA (C 18:1)	15 %
Linolová kyselina Ln (C 18:2 n-6)	37 %
<b><math>\gamma</math>-Linolenová kys. GLA (C18:3 n-6)</b>	<b>24 %</b>

# Brutnák lékařský (*Borago officinalis*)

- 650 mg/kg  $\gamma$ -tokoferol, 50 mg/kg  $\delta$ -toco
- Boraginaceae –  
Pyrrolizidinové alkaloidy – Thesinine aj.



Koncentrace v oleji pod 4 ppb ( $\mu\text{g} / \text{kg}$ ) (kontaminace semen listy a natí)

Max. tolerovatelný příjem 1  $\mu\text{g}$  za den » **250 g oleje**  
bezvýznamné

# Lněný olej

**Len setý** (*Linum usitatissimum* L.)

SFA 11%      MUFA 19 %      Ln 18 %

**ALA 50 %**

**Poměr n-6 / n-3      1 : 3**

**Stabilita**

Plastochromanol 8 40 mg / kg

γ-tokoferol 150 mg / kg semen

Lignany -

sekoisolariciresinol

daidzein, genistein 300 mg / kg semen



# Konopí seté (*Cannabis sativa* L.)

- Země mírného pásma, subtropy



Konopný olej - Hemp Oil

SFA 11 %

MUFA 13 %

Ln 53 %

**GLA 3 %**

**ALA 17 %**

**Poměr n-6 / n-3 3 : 1**

Tokoferoly 800 mg / kg oleje

Cannabidiol AOX

THC není v oleji - jen v listech

# Černý rybíz (*Ribes nigrum*)

- Země mírného pásma, subtropy
- Extrakce oleje ze sušených zbytků po lisování šťávy



Olej

SFA 9 %

MUFA 12 %

Ln 45 %

**GLA 13 %**

**ALA 17 %**

**Stn 3 %**

**Poměr n-6 / n-3 3 : 1**

# Další oleje

**Rakytník řešetlákový** (*Hippophae rhamnoides*)

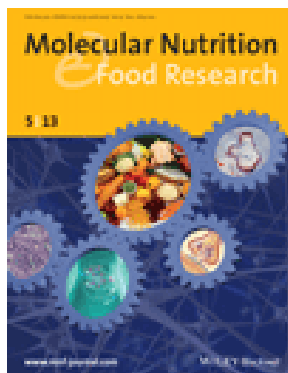
SFA 11 %      MUFA 22 %      Ln 38 %      **ALA 29 %**

**Poměr n-6 / n-3      1 : 1**

**Pískavice řecké seno** (*Trigonella foenum graecum*) Fenugreek

SFA 17 %      MUFA 17 %      Ln 47 %      **ALA 20 %**

**Poměr n-6 / n-3      2 : 1**



Volume 57, Issue 5      May 2013      Pages 748–759

Review

**Dietary omega-3 PUFA and health: Stearidonic acid-containing seed oils as effective and sustainable alternatives to traditional marine oils**

Dr. Marc E. Surette,

Canada Research Chair in Cellular Lipid Metabolism, Department of Chemistry and Biochemistry, Université de Moncton, Moncton, NB E1A 3E9, Canada

**E-mail:** [marc.surette@umoncton.ca](mailto:marc.surette@umoncton.ca)

# Stearidonová kyselina

Rod *Echium* >>>>

Rod *Buglossoides*

*Buglossoides arvensis* (L.) I. M. Johnst. – kamejka rolní; Syn.: *Aegonychon arvensis* (L.) Gray, *Lithospermum arvensis* L., *Margarospermum arvensis* (L.) Decne., *Rhytispermum arvensis* (L.) Link  
Čeleď: *Boraginaceae* Juss. – brutnákovité

Země mírného pásma - okrasná rostlina

Tržní produkce (asi) pouze v Anglii – jižní pobřeží  
(English Channel)

Složení oleje a další atributy podobné jako  
u rodu *Echium*





# Echium oil

## EU Novel Food 27.6.2008 (2008/558/EC)

Specifikace – výtah:

- Echium oil je nažloutlý produkt získaný rafinací oleje ze semen *Echium plantagineum*
- Obsah stearidonové kyseliny nejméně 10 % všech FA
- Obsah pyrrolizidinových alkaloidů: < LOD (4 µg/kg)

Možnosti použití – dle 2008/558/EC – Annex II:

- Jogurty a další mléčné výrobky, sýry, dressingy, roztíratelné tuky, snídaňové cereálie
- Doplnky stravy, PZLU, PPZV pro redukci hmotnosti



# *Echium plantagineum* L. (*Boraginaceae*)

- Hadinec jitrocelový (brutnákovité)
- Subtropická rostlina – Portugalsko, Kanárské o., Azory, Madeira, Turecko, Austrálie

- Největší producenti: Kanárské o., Turecko



- Země mírného pásma – *E. vulgare* (h. obecný) – nemá olejnatá semena – plevel

# Echium oil

## Canaria Islands

SFA 12 %      MUFA 13 %      Ln 27 %      **GLA 23**  
%    **ALA 19 %**                      **Stn 4 %**

Poměr n-6 / n-3      **2 : 1**

## Turecko

SFA 9%      MUFA 12 %      Ln 17 %      **GLA 12**  
%    **ALA 36 %**                      **Stn 13 %**

Poměr n-6 / n-3      **1 : 2**

## *Echium plantagineum* L. (*Boraginaceae*)

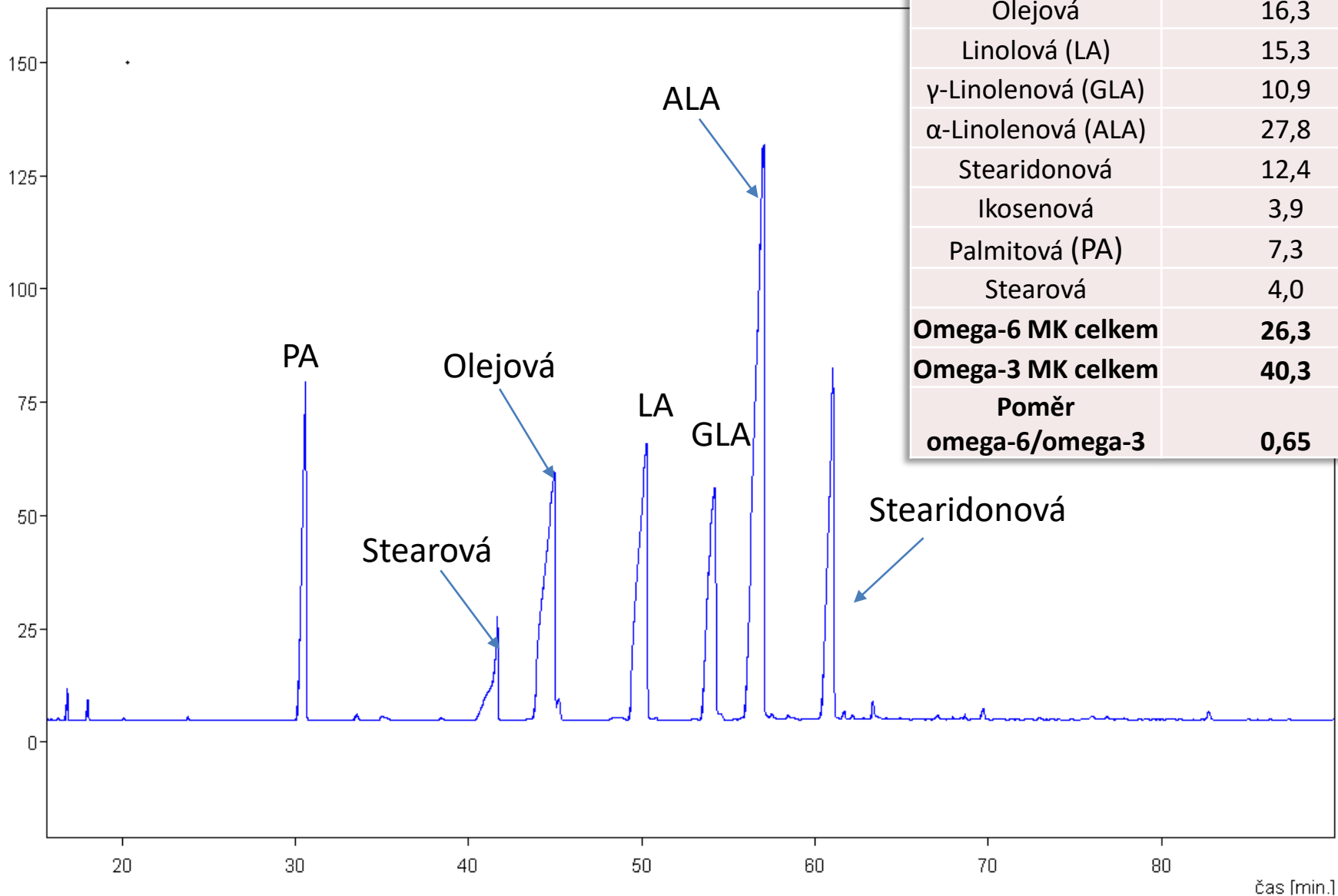
Vysoký obsah přirozených tokoferolů

$\alpha$ - 63,  $\gamma$ -605,  **$\delta$ -143** mg/kg oleje – významný  
ochranný účinek proti oxidaci oleje

Složení mastných kyselin (BP, MD, JP, 2017)



# Echium



MK	Procentuální zastoupení
Olejová	16,3
Linolová (LA)	15,3
γ-Linolenová (GLA)	10,9
α-Linolenová (ALA)	27,8
Stearidonová	12,4
Ikosenová	3,9
Palmitová (PA)	7,3
Stearová	4,0
<b>Omega-6 MK celkem</b>	<b>26,3</b>
<b>Omega-3 MK celkem</b>	<b>40,3</b>
<b>Poměr omega-6/omega-3</b>	<b>0,65</b>

# *Echium plantagineum* L. (*Boraginaceae*)

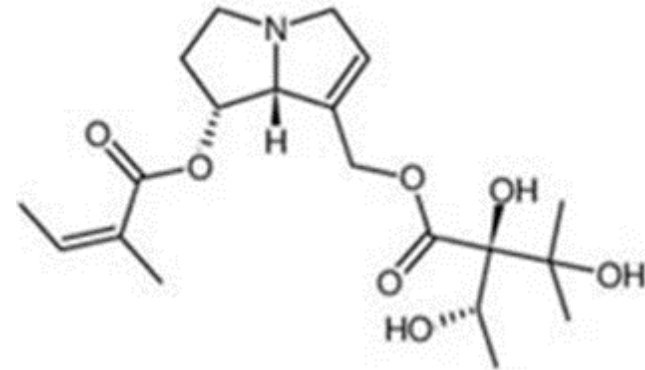
## Ekologický problém

Celá čeleď *Boraginaceae* syntetizuje skupinu velmi významných přirozených toxických látek – pyrrolizidinové

alkaloidy; např. echimidin aj. Vykazují silný hepatotoxický účinek (pro čeleď *Boraginaceae* jsou typické; tvoří je i některé rody jiných čeledí, např. rod *Senecio* (starček), *Tussilago* aj. – *Asteraceae*)

Do semen se nedostávají (v oleji < LOD /4 µg/kg/); jsou v listech (otravy dobytka – koně) a v květech (med, pyl !!) – možná kontaminace ostatních medonosných rostlin pylem

→ STN = slepá ulice ???



echimidin

# Zdroje EPA a DHA

- Ryby
- Rybí olej jako doplněk (sleď, sardinka, tresčí játra....)
- Krill oil – Novel Food
- Řasy – Novel Food
- GMO rostliny



# Krill oil



**EU Novel Food 12.12.2009 (C(2009) 7647)**

Extrakt lipidů z antarktického krillu *Euphausia superba*

Specifikace – výtah:

- Extrakce lyofilizovaného antarktického krillu *Euphausia superba* acetonem, filtrace a odstranění rozpouštědla
- Obsah fosfolipidů max. 50 %, obsah EPA min. 15 % a DHA min. 7 % všech FA

Možnosti použití – dle C(2009) 7647 – Annex II:

- mléčné výrobky a jejich analoga, roztíratelné tuky, dressingy, snídaňové cereálie
- Doplnky stravy (200 mg /den), PZLU, PPZV pro redukci hmotnosti



# Krill oil



6 cm

*Euphausia superba*

(Krunýřovka krillová)

Chladné oceány jižní polokoule, ve velkých hejnech

Hmotnost asi 2 g



## Složení FA

FA	%	FA	%
My 14:0	12,7	18:1 (n-7)	8,3
P 16:0	19,9	IE 20:1 (n-9)	7,0
Ma 17:0	2,5	L 18:2 (n-6)	2,1
S 18:0	1,5	ALA 18:3 (n-3)	2,3
Po 16:1 (n-9)	5,9	<b>EPA</b>	<b>12,6</b>
O 18:1 (n-9)	12,7	<b>DHA</b>	<b>8,8</b>

# Využití řas jako zdroje n-3 kyselin

## Podmínky

- Dostatečná syntéza EPA a /nebo DHA
- Efektivní těžba z přirozeného prostředí a / nebo
- Možnost využití bioreaktorů
- Musí vyhovovat z hlediska potravinové bezpečnosti

# Fototrofní řasy

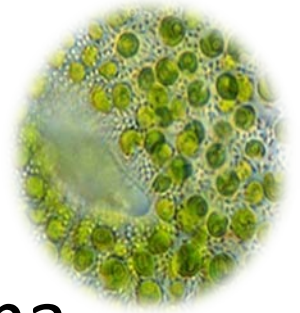
## Chlorella

Sladkovodní i brakické vody

Subtropické oblasti, i oblasti mírného pásma

*C. vulgaris* – až 14 % ALA; n-6 / n-3 2:3

*C. minutissima* – až 45 % EPA      n-6 / n-3 1:9



# Spirulina

(syn. *Arthrospira*) (*Oscillatoriales*)

Fototrofní řasa

vláknité sinice



tropická (částečně i subtropická) jezera s  
vysokým pH (uhličitany a hydrogenuhličitany)

# Spirulina

- *Arthrospira platensis* - Afrika, Asie a Jižní Amerika, *A. maxima* - Střední Amerika
- 20 – 30 % n-6 PUFA; až 2/3 z toho GLA
- *A. maxima*: Ln 9 %; GLA 12 %
- *A. platensis*: Ln 10 %; GLA 21 %
- **Netvoří n-3 PUFA**

Přírodní modrozelené barvivo

BIORAF

# Heterotrofní mořské řasy

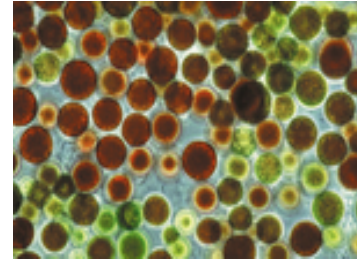
Obvykle v pobřežních šelfových vodách nebo brakické

*Ulkenia spp.*

z tropických oblastí – AU, NZ - těžba

Palmitová kys. 35 %; DPA (n-6) 11 %; **DHA 48 %**

- Komerčně dostupný DHA olej



*Schizochytrium spp.*

Labiryntuly - někdy nazývané „vodní hlenky“

**DHA 37 %**

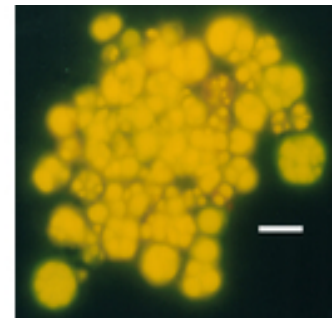
Bioreaktory

*Thraustochytrium aureum*

Labiryntuly

**DHA + EPA > 50 %**    **GLA 3 %**

Bioreaktory



# Heterotrofní mořské řasy

Obvykle v pobřežních šelfových vodách nebo brakické

## *Isochrysis galbana*

volně plovoucí mikrořasa – 10 µm

**25 % EPA**, > 10 % DHA a stearidonové kyseliny

n-6 / n-3 **1 : 16**

## *Monodus subterraneus*

Sladkovodní i brakická, tropická, volně plovoucí mikrořasa

**35 % EPA**, 15 % C20:4 (Arn; n-6)

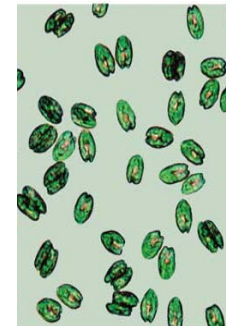
n-6 / n-3 **1:2**

## *Cryptocodinium cohnii*

Sladkovodní i brakická řasa;

Dinophyta – obrněnky; mixotrofní

**40 % DHA** n-6 / n-3 **1 : 40**



# Plísně jako zdroj netypických n-6 kyselin

*Mortierella alpina* } Zogomycetes  
*Mucor hiemalis* }

*M. alpina* – dětská výživa – zdroj arachidonové kyseliny

	Fat content	SFA	MUFA	Ln	ARN	ALA	GLA
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
<i>M. alpina</i>	25	19	14	7	49	x	4
<i>M. hiemalis</i>	30	35	33	12	x	x	15



# Oil from *Mortierella alpina*

**EU Novel Food 12.12.2008 2008/968/EC**

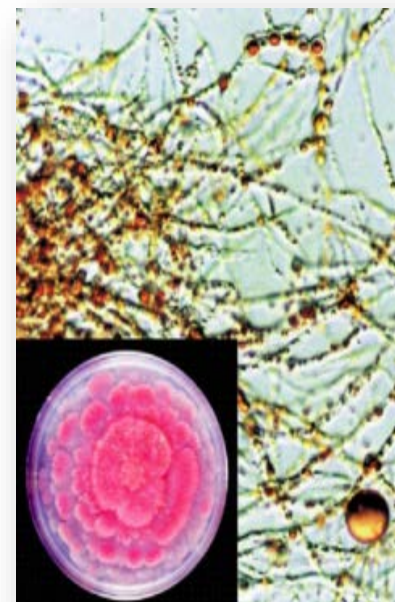
Držitel registrace: Suntory Ltd.

## **Specifikace:**

**Obsah arachidonové kyseliny min. 40 %**

## **Použití:**

- počáteční a pokračovací dětská výživa (článek 2 Nařízení 2006/141/EC)
- výživa pro předčasně narozené děti (Nařízení 89/398/EEC)



# Oil from *Mortierella alpina*



*Mortierella alpina* – Zogomycetes

Obsah tuku okolo 25 %

Mastné kyseliny

MK	% total	MK	%	MK	%
My 14:0	1,8	LC 24:0	<b>10,5</b>	DGLA 20:3 (n-6)	<b>4,6</b>
P 16:0	<b>10,2</b>	O 18:1 (n-9)	6,6	<b>ARN 20:4 (n-6)</b>	<b>46,2</b>
S 18:0	6,8	L 18:2 (n-6)	5,0	C22:4 (n-6)	0,4
Be 22:0	3,6	ALA 18:3 (n-3)	3,5	EPA 20:5 (n-3)	0,6

# Transgenní oleje

## Obvyklé akceptory genové manipulace

(dobře tolerují cizí gen)

- Tabák virginský (*Nicotiana tabacum*)
- Len setý (*Linum usitatissimum*)
- Brukev sítinovitá (*Brassica juncea*) Hořčice indická



# Transgenní oleje

## Donory genů pro neobvyklé desaturasy a elongasy

(např.  $\Delta$ -15 desaturasa ( $\omega$ -3 desaturasa),  $\Delta$ -8 desaturasa,  $\Delta$ -12 desaturasa .....

- Měsíček lékařský (*Calendula officinalis* L.)



- *Pythium irregulare* - rostlinný patogen – tropický (cizopasník – tabák, lekníny .....
- *Mortierella* spp. – půdní plíseň
- *Thraustochytrium* spp.
- .....

# Transgenní oleje

Příklad změny složení MK tabáku a lnu po genové manipulaci

FA %	Tabák		Len	
	klasik	GMO	klasik	GMO
SFA	12	13	9	9
MUFA	12	11	31	<b>24</b>
Ln	75	<b>44</b>	11	<b>6</b>
GLA	-	<b>29</b>	-	<b>17</b>
ALA	1	1	49	<b>30</b>
Stn	-	-	-	<b>11</b>
DGLA	-	<b>2</b>	-	1
Arn	-	<b>2</b>	-	1
EPA (n-3)	-	-	-	<b>2</b>

**Děkuji za pozornost**

