

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra genetiky a šlechtění



Dědičné a nedědičné faktory ovlivňující kvalitu řepkového oleje

Bakalářská práce

Autor práce: Kateřina Zemanová

Vedoucí práce: Ing. Vladimíra Sedláková, Ph.D.

© 2016 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Dědičné a nedědičné faktory ovlivňující kvalitu řepkového oleje" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. 4. 2016

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Vladimíře Sedlákové, Ph.D. za cenné a odborné rady, pomoc při teoretických otázkách, trpělivosti při kontrolování správnosti, porozumění textu a možnosti najít zcela nové poznatky pod jejím vedením.

Dědičné a nedědičné faktory ovlivňující kvalitu řepkového oleje

Souhrn

Tato literární rešerše se dopodrobna zabývá kvalitou řepkového oleje v závislosti na dědičných a nedědičných faktorech. Spotřeba řepkového oleje každým rokem stoupá a kromě využití ve výživě lidí se zpracovává i v krmivářském průmyslu či jako biopalivo pro motorová vozidla. V řepkovém oleji má velké zastoupení zejména kyselina olejová. Dále se v něm nachází kyselina linolová a linolenová a nežádoucí kyselina eruková, jejíž množství je značně redukováno. Je podstatné zmínit i obsah glukosinolátů, jako antinutričních látek, které se spolu s kyselinou erukovou redukují a vzniká řepkový olej typu „00“. Všechny tyto složky jsou v práci podrobně popsány. Obsah mastných kyselin v řepkovém oleji mohou ovlivňovat jak faktory genetické, tak faktory environmentální. Selektce hraje při šlechtění značnou roli. Vhodným výběrem správných genotypů spolu s vlivy vnějšího prostředí můžeme dosáhnout požadovaného cíle. Důležitou roli zde hraje i syntéza mastných kyselin, kde pomocí desaturačních enzymů řady fad, dochází k desaturaci kyseliny stearové na kyselinu olejovou, linolovou a linolenovou. Pomocí metody QTL je možné detekovat genové pozadí kvantitativních znaků. Hlavní geny zodpovídající za kvalitu řepkového oleje se nachází na chromosomech A, konkrétně A1, A3, A5 a A8, které jsou v práci zmíněny.

Klíčová slova: Brassica napus, olej, nutriční kvalita, genetická variabilita, DNA

Hereditary and non-hereditary factors affecting the quality of rapeseed oil

Summary

This literature review study quality of rapeseed oil in details, depending on heritable and non-heritable factors. Consumption of rapeseed oil is growing every year and in addition to use in human nutrition is also used in animal feed industry or as fuel for motor vehicles. The rapeseed oil has especially a large representation of oleic acid. Furthermore, it is linoleic acid and linolenic acid and undesirable erucic acid, whose quantity is considerably reduced. It is important to mention glucosinolate content, as antinutritional substances, which is reduced together with erucic acid which is known as "00" rapeseed oil. All these components are described in details in this review. The content of fatty acids in rapeseed oil may be influenced both genetic factors and environmental factors. Selection plays a significant role in breeding. Suitably selecting the correct genotypes along with environmental influences can reach the desired target. An important role is played by the synthesis of fatty acids, where in using a desaturation enzymes of fad series, there is desaturation of stearic acid to oleic acid, linoleic acid and linolenic acid. With QTL method, it can be detected genetic background of quantitative traits. Major genes responsible for the quality of rapeseed oil are located on the chromosome A, namely A1, A3, A5 and A8, which are mentioned in the work.

Keywords: Brassica napus, oil, nutritional quality, genetic variation, DNA

Obsah

1 Úvod	8
2 Cíl práce	9
3 Literární přehled	10
3.1 Obecné informace	10
3.1.1 Vznik a dějiny řepky olejký.....	10
3.1.2 Důležitost pěstování	10
3.1.3 Rozšíření.....	10
3.1.4 Popis řepky.....	12
3.2 Pěstování řepky olejký	12
3.3 Odrůdy ozimé řepky	13
3.3.1 Odrůdová skladba	13
3.4 Popis jednotlivých odrůd	15
3.5 Řepkový olej	16
3.5.1 Obecná charakteristika	16
3.5.2 Použití v kuchyni	16
3.5.3 Řepkový olej „00“ = „double low“	17
3.6 Mapování QTL	17
3.7 Mastné kyseliny	17
3.7.1 Definice	17
3.7.2 Využití.....	18
3.7.3 Význam ve stravě.....	18
3.7.4 Nasycené mastné kyseliny (SAFA)	18
3.7.5 Nenasycené mastné kyseliny	19
3.7.6 Získávání rostlinných tuků a olejů.....	21
3.7.7 Kyselina eruková	22
3.7.8 Kyselina olejová, linolová a linolenová	24
3.7.9 Kyselina linolová a linolenová.....	25
3.7.10 Ostatní mastné kyseliny.....	27
3.8 Glukosinoláty	28
3.8.1 Antinutriční hodnoty glukosinolátů	29
3.8.2 Redukce glukosinolátů (GSL).....	29
3.9 Šlechtění řepky	29
3.9.1 Šlechtění na kvalitu oleje	29
3.9.2 Obsah olejů a jejich množství v řepkovém oleji	30
3.9.3 Ovlivnění olejnatosti semen	30
3.9.4 Maternální efekt	31

3.10	Genotyp x environmentální faktory	31
3.11	Dědičnost.....	31
3.11.1	Účinky aditivních genů.....	32
3.12	Sekundární metabolity	33
3.12.1	Karotenoidy.....	33
3.12.2	Chlorofyl.....	35
3.12.3	Tokoferol (vitamín E)	36
3.12.4	Rostlinné steroly = fytosteroly	36
3.13	Vlivy pěstebních faktorů.....	37
3.13.1	Vliv termínu a hustoty výsadby na kvalitu a stabilitu olejnatosti semen .	37
3.13.2	Množství dusíkatých a fosforečných hnojiv na kvalitu a stabilitu oleje ...	38
4	Diskuse	39
5	Závěr	40
6	Zdroje.....	41
7	Seznam příloh	48
7.1	Seznam obrázků	48
7.2	Seznam tabulek.....	48

1 Úvod

Řepka olejka je dnes jednou z nejdůležitějších olejnin na světě. Její využití při výrobě řepkového oleje je jeden z hlavních důvodů pěstování. Jedním z hlavních faktorů značně ovlivňující kvalitu řepkového oleje je obsah kyseliny erukové. V dnešní době jsou prokázány nepříznivé účinky této kyseliny na organismus, a proto spotřebitelé kladou značný důraz na její množství přijaté v potravě. Preferují tedy řepkový olej s co nejnižším obsahem kyseliny erukové, což má za následek větší poptávku a tedy tlak ze strany spotřebitelů na výrobce.

Dalšími faktory hrající značnou roli v oblasti kvality je obsah nenasycených mastných kyselin a to především kyseliny olejové, linolové a linolenové. Vyšší obsah kyseliny olejové je významný z důvodu použití řepkového oleje nejen ve studené kuchyni, ale i možnosti tepelné úpravy pokrmů při vysokých teplotách a smažení. Kyselinu linolovou a linolenovou si naše tělo není schopno syntetizovat. Jedná se tudíž o esenciální mastné kyseliny, které je nutno přijímat se stravou.

Obsah glukosinolátů je další z mnoha faktorů, který hraje podstatnou roli v kvalitě řepkového oleje. Snaha o regulaci obsahu glukosinolátů je značná podobně jako u kyseliny erukové a dnes v sortimentu nacházíme oleje s minimálním množstvím těchto látek.

Tato bakalářská práce se formou literární rešerše dopodrobna zabývá právě kvalitou a složením řepkového oleje, problematikou šlechtění a dědičnosti jednotlivých obsažených látek.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je shromáždit, prostudovat a posoudit současné literárně prezentované poznatky o dědičných a nedědičných faktorech ovlivňujících kvalitu řepkového oleje. Jedním z cílů této práce je zaměřit se zejména na aktuální trendy výzkumu této problematiky s využitím moderních molekulárních metod analýzy nukleových kyselin.

S použitím odborné literatury a dostupných informací je úkolem shromáždit informace o dnes velmi populárním tématu z oblasti výživy. Z hlediska genetického se jedná o přiblížení problematiky šlechtění řepky olejky a faktorů ovlivňujících jeden z významných produktů používaný v naší kuchyni každý den.

Cílem je u každého faktoru ovlivňujícího kvalitu určit, zdali se jedná o dědičný či nedědičný faktor a případně získat dostupné informace o jeho genovém pozadí.

3 Literární přehled

3.1 Obecné informace

3.1.1 Vznik a dějiny řepky olejký

Řepka olejký (*Brassica napus* L.) z rodu brukvev (*Brassica*) patří do čeledi brukvovitých (*Brassicaceae*). Do této čeledi řadíme dalších 170 rodů s přibližně 2000 druhy (Diepenbrock et Fischbeck, 1999). Vznikla ze spontánní hybridizace brukvev zelné (*Brassica oleracea* L.) s 20 chromosomy (AA, $2n = 20$) a brukvev řepice (*Brassica rapa* L.) s 18 chromosomy (CC, $2n = 20$). Jedná se tedy o amfitetraploid s 38 chromosomy po křížení ($2n = 38$) (Nesi et al., 2008; Vašák, 2000).

3.1.2 Důležitost pěstování

Řepka olejký se řadí do olejnin a je nejdůležitější olejninou zejména v Evropě a druhou nejvýznamnější a nejrozšířenější olejninou na světě hned po sóje luštinaté (*Glycine max* L.). V současné době se její plochy neustále rozšiřují a můžeme ji řadit mezi 10 nejvýznamnějších plodin světa (Nesi et al., 2008).

3.1.3 Rozšíření

3.1.3.1 Řepka jarní

Větší rozšíření má řepka jarní. Nejčastější výskyt pěstování je na Indickém subkontinentu, v Číně, západní Sibiři, Kazachstánu, severním Kavkaze, evropské oblasti od řeky Dněpru až po Britské ostrovy včetně Skandinávie, Pobaltí a Bílé Rusi. Najdeme ji ale i v Severní Americe, obzvláště pak v Kanadě. Nechybí ani v Argentině, severní Africe a na Novém Zélandu. Zejména po roce 1990 se pak mnohonásobně rozšířila plocha jarní řepky v Austrálii a to až 25krát. Její rozšíření je tak celosvětově velmi značné (Vašák, 2000).

3.1.3.1.1 Současné zastoupení v České republice

Řepka olejký jarní se v ČR roce 2015 pěstovala na sklizňové ploše 6000 ha. Její zastoupení činilo pouhá 1,4 % z celkového zastoupení jednotlivých druhů olejnin na celkové ploše v roce 2015. Oproti řepce olejce ozimé je toto číslo značně malé a vypovídá o větším zastoupení ozimé formy na našem území, jak znázorňuje graf na obrázku 1 (Zehnálek et Kraus, 2016).

3.1.3.2 Řepka ozimá

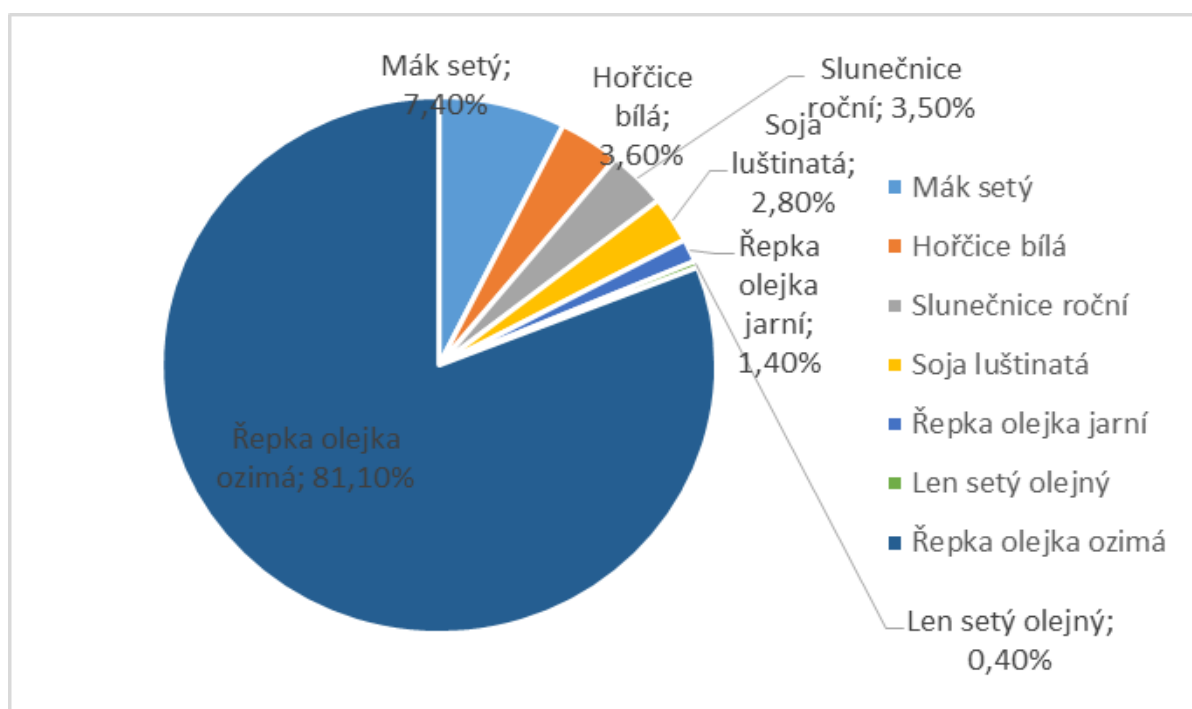
Ozimý typ už nemá tak značné rozšíření. Tento typ nalezneme i v České republice. Dále zahrnuje oblast střední a západní Evropy, nejnižnější část Skandinávie a Kanady, nově i severní Kavkaz, západní Ukrajinu, část Běloruska, západ a sever USA (Vašák, 2000).

V 80. letech 20. stol. se v ČR začaly rozšiřovat plochy ozimé řepky, jejichž odrůdy měly zajistit minimální obsah kyseliny erukové a to do 5 %, později do 2 % z celkového obsahu mastných kyselin. Jedná se tak o veliký zvrat v pěstování řepky, kde se podstatně zvýšila výše výnosů, zjednodušilo pěstování a zásadním způsobem změnila kvalita řepkového oleje. Nový „bezerukový“ olej z řepky olejky vyhovuje i nejnáročnějším spotřebitelům a je zde velká podobnost s olejem olivovým. Na této první řepkové revoluci měl zásluhu Ústav pro vědeckou soustavu hospodaření (Scholz et Jirásek, 1974).

3.1.3.2.1 Současné zastoupení v České republice

Řepka olejka ozimá se v roce 2015 pěstovala na sklizňové ploše 360 180 ha. Její zastoupení tak činilo 81,1 % z celkového zastoupení jednotlivých druhů olejnin na celkové ploše v roce 2015. Pěstování ozimé řepky v České republice značně převažuje u nás dosud pěstované olejninu, což si můžeme ověřit v grafu na obrázku 1 (Zehnálek et Kraus, 2016).

Obrázek č. 1 Graf zastoupení jednotlivých druhů na celkové ploše olejnin v České republice v roce 2015 (Zehnálek et Kraus, 2016)



3.1.4 Popis řepky

3.1.4.1 Vegetační doba

Vegetační doba řepky olejky ozimé je v našich podmínkách 300 až 340 dnů, v průměru nejčastěji 325 dnů. Ve vyšších nadmořských výškách pak výjimečně i celý rok.

Řepka vytváří mohutný křovitý kořen. Nadzemní část ozimé řepky se vyskytuje ve dvou fázích a to v podzimní fázi listové růžice (fáze vegetativní) a v jarní fázi prodloužení nebo rychlého růstu (fáze generativní) (Vašák, 2000).

3.1.4.2 Lodyha

Jedná se o jednoletou až dvouletou rostlinu s lodyhou o výšce 120 - 220 cm. Lodyha je přímá, větvená a lysá, která nedřevnatí (Vašák, 2000). Vyrůstají na ní zpravidla listy různých druhů a to listy střídavé nebo pouze přízemní, jednoduché celistvé nebo až složené, bez palistů. Střední a horní listy jsou pak přisedlé až objímavé, vejčité až kopinaté, na okraji celokrajné až zubaté či vykrajované (Hejný et Slavík, 1992).

3.1.4.3 Květenství a semena

Řepka obvykle začíná kvést už koncem dubna. Kvetení porostu zpravidla trvá 20 - 25 dnů a většinou celé probíhá v květnu v závislosti na počasí. Řepka je z větší části samosprašná. Sprášení větrem je ale menší než 10 %, hmyzem (převážně včely, výjimečně čmeláci) pak nad 90 %. To je důležité zejména u složených hybridů (Vašák, 2000). Květenstvím je hrozen. Květy jsou oboupohlavné, bisymetrické, pouze zřídka slabě souměrné (Hejný et Slavík, 1992).

Plod se nazývá šešule nebo šešulka, pukající dvěma chlopněmi (Hejný et Slavík, 1992). Je nejčastěji dvouřadá a obsahuje 15 – 20 tmavě černých semen. Hmotnost tisíce semen se pak nejčastěji pohybuje v rozmezí 4,5 až 5,5 g. Barva květu je jasně žlutá, výjimečně pak můžeme najít odrůdy se světlejší žlutou až bílou barvou (Vašák, 2000).

3.2 Pěstování řepky olejky

Pěstování řepky můžeme rozdělit do dvou hlavních směrů a to na kvalitu oleje a kvalitu krmiva (Hannoufa et al., 2014).

Šlechtění řepky je do značné míry řízeno nutričními atributy, potravinářským průmyslem a především spotřebiteli. Pro zlepšení nutričních vlastností v řepkovém oleji jsou významné čtyři cíle, a to snížení obsahu nežádoucích mastných kyselin, zlepšení stability oleje, zvýšení

olejnatosti semen a zvýšení energetické hodnoty krmiva. Nutriční hodnoty a využití závisí na vyrovnanosti mastných kyselin (Nesi et al., 2008).

Pro zlepšení a efektivitu šlechtění je velmi důležitá selekce. Je dobré zvolit lepší rodičovskou populaci nebo šlechtitelský materiál s lepšími genetickými účinky v kombinaci s vhodným environmentálním prostředím (Shi et al., 2003).

3.3 Odrůdy ozimé řepky

Odrůdy řepky ozimé jsou nejprve hodnoceny v rámci registračních pokusů Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ). Po registraci odrůdy může udržovatel nebo zmocněný zástupce podat žádost o zařazení odrůdy do zkoušek pro Seznam doporučených odrůd. Podle délky zkoušení a dosažených výsledků ve zkouškách je pak odrůdě na základě výchozích kritérií pro doporučování přidělena kategorie doporučení (Baranyk, 2015).

- Odrůdy předběžně doporučené jsou odrůdy nově zařazené do zkoušek pro seznam doporučených odrůd (SDO) s nejméně tříletými výsledky zkoušení.
- Odrůdy doporučené jsou odrůdy zkoušené minimálně 2 roky v pokusech pro SDO a splňující výchozí kritéria pro doporučení.
- Odrůdy ostatní jsou zkoušené minimálně 2 roky v pokusech pro SDO a nesplňující některé z výchozích kritérií pro doporučení.

Kromě odrůd, které již byly zařazeny do pokusů pro SDO, jsou uvedeny také údaje o odrůdách nově registrovaných vzhledem k tomu, že jejich osivo bude nabízeno již pro zásev v sezóně 2015/2016 (Baranyk, 2015).

3.3.1 Odrůdová skladba

Současnou odrůdovou skladbu řepky ozimé tvoří pět skupin odrůd. Řadí se mezi ně liniové odrůdy, pylově fertillní hybridy, pylově sterilní hybridy / sdružené odrůdy, tříliniové hybridy a topcross hybridy. Téměř všechny odrůdy jsou určeny pro produkci semene (Zehnálek et Kraus, 2016).

3.3.1.1 Liniové odrůdy

Liniové odrůdy zahrnují běžné odrůdy různého typu a to především u samosprašných rostlin (pylově fertillní linie, zúžené populace, dihaploidy). Pěstování těchto odrůd se řídí obvyklou agrotechnikou (Chloupek, 2008).

3.3.1.2 Pylově fertilní hybridy (restaurované hybridy)

Pylově fertilní hybridy (restaurované hybridy) jsou hybridní odrůdy tvořící v květech pyl a to u všech rostlin. Vzhledem k rychlejšímu a mohutnějšímu nárůstu těchto odrůd během podzimní i jarní vegetace je třeba je vysévat přednostně ke konci agrotechnických lhůt a snížit výsevek. Doporučené výsevní množství pro jednotlivé hybridy podávají příslušné semenářské firmy (Zehnálek, 2006; Vašák, 2000; Chloupek, 2008).

3.3.1.3 Polotrasličí (semidwarf) odrůdy

Polotrasličí (Semidwarf) odrůdy patří mezi pylově fertilní hybridy. Jsou nízkého vzrůstu a během podzimní vegetace se vyznačují pomalejším růstem. Rostliny větvi nízko nad zemí a tvoří tak obtížně prostupný porost. Poléhají jen zřídka (Zehnálek et Kraus, 2016).

3.3.1.4 Pylově sterilní hybridy / Sdružené odrůdy

Pylově sterilní hybridy / Sdružené odrůdy jsou uváděny do oběhu jako odrůdy tvořené směsí pylově sterilní hybridní složky, netvoří tedy pyl, a různého podílu liniových odrůd jako opylovačů. V agrotechnice těchto odrůd je dobré respektovat i specifika jejich opylovacích poměrů (Vašák, 2000).

Rovněž je vhodné umisťovat pěstitelské plochy do sousedství ploch pylově fertilních hybridů nebo liniových odrůd jako dalšího zdroje pylu. V současné době již tyto odrůdy nejsou na trhu nabízeny (Zehnálek et Kraus, 2016).

3.3.1.5 Tříliniové hybridy

Tříliniové hybridy jsou odrůdy takové, které se skládají z 50 % hybridních rostlin fertilních tvořících v květech pyl a z 50 % hybridních rostlin sterilních které pyl neprodukují (Chloupek, 2008). V současné době je nabídka hybridů tohoto typu na trhu velmi omezená (Zehnálek et Kraus, 2016).

3.3.1.6 Topcross hybridy

Topcross hybridy jsou hybridní odrůdy složené ze 70 % hybridních rostlin fertilních a z 30 % hybridních rostlin sterilních. Rovněž nabídka osiv hybridů tohoto typu je velmi omezená (Zehnálek, 2006).

3.4 Popis jednotlivých odrůd

Šlechtění řepky můžeme rozdělit do dvou hlavních částí a to na kvalitu oleje a kvalitu krmiva. Nutriční hodnoty a využití závisí především na vyrovnanosti mastných kyselin (Nesi et al., 2008; Hannoufa et al., 2014).

V České republice jsou výhradně pěstovány odrůdy typu „00“ tj. s minimálním obsahem kyseliny erukové a nízkým obsahem glukosinolátů. V této kategorii najdeme velké množství různých odrůd včetně odrůd nově registrovaných nebo doporučených (Zehnálek et Kraus, 2016). V tabulce 3. najdeme výběr několika z nich. Výjimkou jsou odrůdy typu „E0“ s vysokým obsahem kyseliny erukové a nízkým obsahem glukosinolátů. Olej z nich vyrobený slouží pouze pro technické účely. Tyto odrůdy ale nejsou v současnosti v ČR pěstovány. Typ „EG“ se vyznačuje vysokým obsahem kyseliny erukové a vysokým obsahem glukosinolátů. Jedná se o tzv. odrůdy pícního typu, které se v současné době už nepěstují (Vašák, 2000).

V roce 2013 byla registrována u nás první odrůda s vysokým podílem kyseliny olejové v řepkovém oleji, konkrétně tzv. typ „HO“ „higholeic“ Sidney (Zehnálek et Kraus, 2016).

Obsah oleje (% v sušině) je u všech registrovaných odrůd vyhovující pro technické zpracování semene. V minulosti většina registrovaných odrůd řepky jarní měla nižší obsah oleje oproti odrůdám řepky ozimé. V současnosti nové registrované odrůdy mají již obsah oleje srovnatelný (Zehnálek et Kraus, 2016).

Tabulka č. 1 Rozdělení odrůd řepky olejky ozimé podle obsahu kyseliny erukové a glukosinolátů

Typ	Název	Typ odrůdy	Přednosti
00	DK EXCELLIUM	Pylově fertilní hybrid (OGU/INRA)	Velmi vysoký obsah oleje
00	SIDNEY (CPG) typ „HO“	Linie	Vysoký podíl kyseliny olejové
00	HORCAL	Pylově fertilní hybrid (OGU/INRA)	Vysoký výnos semene, odolnost proti poléhání, vysoký obsah oleje.
E0	OÁZA	Linie	Vysoký obsah kyseliny erukové při nízkém obsahu GSL
E0	OPTIMIAN ^{PO}		
EG	ALBION	Linie	Vysoký obsah kyseliny erukové a glukosinolátů
EG	GREENLAND		

3.5 Řepkový olej

3.5.1 Obecná charakteristika

Řepkový olej se vyznačuje vysokou nutriční hodnotou a svým složením se velmi podobá oleji olivovému. Výhodou je obsah vysokého množství nenasycených mastných kyselin, které příznivě působí zejména na náš srdeční a cévní systém a také na obranyschopnost organismu (Trojan, 2003).

Naopak, nasycené mastné kyseliny najdeme jen ve velmi malém zastoupení. Kvalitní řepkový olej obsahuje také řadu vitamínů, a to zejména vitamíny rozpustné v tucích, jako jsou A, D, E, K a minerální látky jako fosfor a hořčík (Trojan, 2003).

3.5.2 Použití v kuchyni

Dominantní složkou řepkového oleje je kyselina olejová (u „klasických“ odrůd 57 až 68 %, u odrůd typu „High Oleic“ až 80 % z celkového obsahu oleje). Oleje s vyšším zastoupením kyseliny olejové jsou vhodnější pro teplou kuchyni a to i při úpravě pokrmů při vysokých teplotách. Díky svému vysokému kouřovému bodu je bezpečné na něm i smažit a to bez obavy z přepálení. Naopak olej s vyšším podílem kyseliny linolové a hlavně kyseliny linolenové je velmi vhodný k použití ve studené kuchyni. Je tedy značně nepřesné říci,

že kvalitnější je olej s vyšším obsahem kyseliny olejové. Tento fakt závisí na tom, k jakému účelu plánujeme olej použít (Kimber et McGregor, 1995).

3.5.3 Řepkový olej „00“ = „double low“

Obsah oleje a jeho kvalita je u řepkového semene ovlivněna řadou faktorů, především geneticky (odrůdou), klimatickými podmínkami, ošetřením, agrotechnikou a intenzitou hnojení. Určitým problémem je obsah antinutričních látek ze skupiny glukosinolátů a obsah kyseliny erukové (Jönsson, 1977).

Ve svém složení mastných kyselin se tradiční olej ze semen řepky výrazně lišil od většiny jiných rostlinných olejů a to zejména svým vysokým obsahem kyseliny erukové (Jönsson, 1977).

Olej se sníženým obsahem kyseliny erukové a glukosinolátů byl proto v 70. letech 20. stol. velice žádaný a je tomu tak dodnes (Kimber et McGregor, 1995).

Šlechtěním řepky byly vytvořeny odrůdy „00“, ty se na trh dostaly pod tzv. názvem „double low“, protože měli nízký jak obsah kyseliny erukové (<20 g/kg), tak obsah glukosinolátů (<30 g/kg) v porovnání s tradičním řepkovým olejem (Coonrod et al., 2008).

3.6 Mapování QTL

QTL mapování genomu se využívá při šlechtění vedoucí ke zlepšení produkce. Olejnatost je kvantitativní znak a pro detekci genového pozadí se používá právě tato metoda. Lokusy kvantitativních znaků (QTL, Quantitative Trait Loci) jsou lokusy, úseky DNA, které více nebo méně ovlivňují kvantitativní znaky (především užitkové). QTL, které ovlivňují ekonomicky významné znaky, a jsou označovány jako lokusy ekonomicky významných vlastností (ETL, Economic Trait Loci) (Kearsey et Farquhar, 1998; Broman et al., 2003; Seaton et al., 2002).

QTL je nejčastěji používaná metoda tzv. intervalového mapování, která umožňuje odhadovat genotyp i v úsecích mezi námi genotypizovanými markery. Pokud se QTL, tedy lokus, který výrazně ovlivňuje variabilitu ve zkoumaném znaku, podaří identifikovat, nastává fáze pozičního klonování. (Kearsey et Farquhar, 1998; Broman et al., 2003; Seaton et al., 2002).

3.7 Mastné kyseliny

3.7.1 Definice

Lipidy jsou jedny z hlavních živin člověka a jsou nejvydatnějším zdrojem energie (1 g tuku poskytuje 9 kcal = 37,7 kJ energie). Jedná se tedy o tzv. makronutrienty. Mají zásobní

funkci a umožňují vstřebávání vitamínů rozpustných v tucích (A, D, E a K) z potravy (Murray, 2002).

3.7.2 Využití

Představují však i jeden z rizikových faktorů aterosklerózy (resp. ischemické choroby srdeční), včetně infarktu myokardu a cévních mozkových příhod. Z tohoto důvodu by se měl hlídat jejich příjem a složení (Murray, 2002).

Nadměrný příjem a nevhodná skladba lipidů v potravě vedou k onemocnění jako obezita, diabetes mellitus, žlučnickové kameny apod. Mastné kyseliny jsou součástí všech buněk organismu a také jsou potřebné k tvorbě hormonů. Jedná se o nezbytné složky naší potravy, na což je dobré nezapomínat (Murray, 2002).

3.7.3 Význam ve stravě

Tuky mají ve výživě nezastupitelnou roli. Jejich denní příjem by měl činit od 20 – 30 % celkového energetického příjmu. Podíl by však neměl klesnout pod 20 % DDP (doporučené denní potřeby), aby nedocházelo k různým poruchám, nedostatečnému zásobování lipofilními vitamíny a esenciálními mastnými kyselinami (MK) (Velíšek, 1999).

Zásadní význam ve stravě mají především nenasycené mastné kyseliny, které náš organismus neumí sám syntetizovat a musí je tak přijímat potravou. Patří tedy do kategorie esenciálních mastných kyselin a jsou pro náš organismus nezbytné. Vysoký obsah nenasycených MK (polyenových) v rostlinných tucích tvoří především řady n-6 a n-3. Při jejich nedostatku dochází k poruchám růstu a vývoje, trpí celková odolnost organismu, jsou postiženy imunitní reakce a zvyšuje se náklonnost k poruchám metabolismu jako například diabetes mellitus apod. (Trojan, 2003).

Vyšší obsah nenasycených MK ve stravě má příznivý vliv na celkový obsah cholesterolu a může se příznivě projevit v prevenci kardiovaskulárních onemocnění (Trojan, 2003).

Řepkový olej obsahuje hlavně mono- a poly-nenasycené mastné kyseliny, zejména kyselinu olejovou (C18: 1), linolovou (C18: 2) a linolenovou (C18: 3), a mimo jiné i kyselinu erukovou, která je v současném řepkovém oleji značně redukována díky jejím nežádoucím účinkům (Coonrod et al., 2008).

3.7.4 Nasycené mastné kyseliny (SAFA)

Typický je výskyt nasycených mastných kyselin (nejvíce k. palmitové a k. stearové) v potravinách živočišného původu. Jsou tedy v potravě většinou doprovázeny cholesterolem.

V částečné míře se mohou ale vyskytovat i v olejích původu rostlinného. S tím, že je značný rozdíl ve složení a množství mastných kyselin (Velíšek, 1999).

Mezi nižší mastné kyseliny patří k. máselná C4: 0, k. kapronová C6: 0, k. kaprylová C8: 0, a k. kaprinová C10: 0. Mezi vyšší pak patří k. palmitová C16: 0, k. stearová C18: 0, k (Zhao et al., 2014).

Nasyčené mastné kyseliny jsou složkou olejů, která je nežádoucí z hlediska zdravé výživy. Jejich obsah je uváděn v procentuálním poměru kyseliny palmitové a stearové. Řepkový olej se mezi ostatními rostlinnými oleji vyznačuje jejich nejnižším obsahem (Zehnálek et Kraus, 2016).

3.7.4.1 Účinky nasycených mastných kyselin na lidské zdraví

Snížení příjmu nasycených mastných kyselin vede současně k žádoucímu snížení příjmu cholesterolu. Cholesterol přijímaný potravou zvyšuje koncentraci cholesterolu v krevní plazmě a to v různém rozsahu (Tláskal, 2011).

Mezi účinky nasycených MK mimo jiné patří zvyšování hladiny celkového a LDL - cholesterolu (především nasycené mastné kyseliny s dlouhým řetězcem - důležité omezit jejich příjem), dále podporují obezitu a vývoj aterosklerozy a jsou rizikovým faktorem především pro srdečně-cévní onemocnění (Trojan, 2003).

3.7.5 **Nenasycené mastné kyseliny**

Obsah nenasycených mastných kyselin (MK) v rostlinných olejích se pohybuje v širokém rozmezí, a to od 90 % všech MK (například v řepkovém oleji) (Tab. 2) po méně než 10 % (například v kokosovém tuku). V tucích živočišných se pak nenasycené MK pohybují v rozmezí 50 – 70 %. V rostlinách je ve srovnání s živočichy daleko větší pestrost ve složení nenasycených MK (Velíšek, 1999).

Nenasycené MK se dělí na mastné kyseliny s jednou dvojnou vazbou (monoenoové, MUFA) a s několika dvojnými vazbami (polyenoové, PUFA) (Tab. 2). Typickým příkladem a hlavním zástupcem monoenoových MK je kyselina olejová. Její výskyt je v malém množství prakticky ve všech živočišných i rostlinných lipidech (Velíšek, 1999). Snižuje hladinu LDL - cholesterolu, snižuje výskyt ischemické srdeční choroby a je odolnější vůči oxidaci (Murray, 2002).

Tabulka č. 2 Obsah nasycených, monoenových a polyenových MK v některých olejích (% veškerých MK) (Velíšek, 1999)

Druh oleje	Mastné kyseliny		
	Nasycené	Monoenové	Polyenové
Řepkový olej	5-10	52-76	22-40
Olivový olej	8-26	54-87	4-22
Slunečnicový olej	9-17	13-41	42-74
Sójový olej	14-20	18-26	55-68
Lněný olej	10-12	18-22	66-72
Podzemnicový olej	14-28	40-68	15-45

3.7.5.1 Omega-3 a omega-6 nenasycené mastné kyseliny

Mezi nenasycenými mastnými kyselinami mohou být mimo jiné ω -6 a ω -3 mastné kyseliny. Základní ω -6 mastná kyselina je kyselina linolová, která je desaturována v těle na formu kyseliny arachidonové, zatímco základní ω -3 α -linolenová mastná kyselina je desaturována na eikosapentaenovou (EPA) a dokosahexaenovou (DHA) kyselinu. EPA a DHA jsou hlavní strukturální MK v centrálním nervovém systému a sítnici a jejich dostupnost je klíčová pro rozvoj mozku (Murray, 2002).

Eikosanoidy (EPA) jsou sloučeniny uplatňující se jako vasokonstriktory a vasodilatační látky při regulaci krevního tlaku, regulují srážení krve jako agregační a antiagregační látky krevních destiček (trombocytů), regulují funkci leukocytů, cykly spánku a bdění (Velíšek, 1999).

Bylo prokázáno, že ω -3 výrazně zlepšují parametry červených krvinek, jejich schopnost deformability (pružnost membrány), snižují viskozitu krve, snižují agregaci trombocytů (Ernst, 1989). Nenasycené ω -3 MK mají dále vasodilatační a protizánětlivé účinky. Mezi zástupce patří k. α -linolenová 18: 3 (9,12,15), esenciální, EPA - pentaenová 20: 5 (5,8,11,14,17), DHA - hexaenová 22: 6 (4,7,10,13,16,19) (Tab. 3) (Russo, 2009). Podle Das (2004) mateřské mléko obsahuje poměrně značné množství nenasycených MK a standardní podíl DHA.

Nenasycené ω -6 MK mají vasokonstriktorní účinky, protizánětlivé účinky a zvyšují agregaci neboli shlukování krevních destiček, které se podílí na procesu zástavy krve. Mezi nejčastější zástupce patří k. linolová 18: 2 (9,12) esenciální, k. γ -linolenová 18: 3 (6,9,12), k. dihomogamma-linolenová 20: 3 (8,11,14), k. arachidonová 20: 4 (5,8,11,14) (Tab.3) (Russo, 2009).

Tabulka č. 3 Rozdělení ω -6 a ω -3 mastných kyselin (Russo, 2009)

Omega-3 mastné kyseliny	Omega-6 mastné kyseliny
kyselina α -linolenová (ALA)	kyselina linolová (LA)
kyselina eikosapentaenová (EPA)	kyselina γ -linolenová (GLA)
kyselina dokosaheptaenová (DHA)	kyselina arachidonová (AA)

3.7.6 Získávání rostlinných tuků a olejů

Zpracovávají se především semena olejnin. Z olejnin se olej získává především lisováním pod vysokým tlakem nebo extrakcí rozpouštědly, především hexanem. V praxi se běžně oba způsoby kombinují. Po vylisování nám zůstane tzv. extrahovaný šrot s obsahem zbytkového tuku 2 – 3 %. Speciálním odvětvím jsou panenské oleje. Ty se získávají lisováním bez předcházejícího záhřevu (Velíšek, 1999).

3.7.6.1 Výroba řepkového oleje

Řepkový olej se připravuje nejčastěji lisováním a extrakcí tepelně či mechanicky předupraveného řepkového semene. Výtěžek oleje činí zhruba 40 % hmotnosti. Na výrobu 1 t řepkového oleje se spotřebuje asi 2,3 t řepkového semene a současně vznikne kolem 1,3 t šrotu neboli pokrutin (Blažek et Rábl, 2006).

Tuky jako zásobní látky jsou obsaženy v semenech nebo plodech rostlin. Ty se po nasbírání drtí, aby došlo k rozrušení buněk a olej tak mohl volně vytékat. Následně se lisují, což je hlavní technologická operace a tím se získává olej. Lisováním za studena získáváme nejkvalitnější (panenský) olej, který je vhodný ke konzumaci nebo jako terapeutický olej. Lisování za tepla je jednodušší proces, ale zato získáme méně kvalitní olej vhodný pro technické účely. Nevýhodou lisování olejů za studena je nižší zisk oleje (Blažek et Rábl, 2006).

3.7.6.2 Spotřeba rostlinných olejů v ČR

Spotřeba řepkového oleje každým rokem roste, což můžeme zaznamenat v tabulce č. 4. V ČR se v loňském roce prodalo 15,6 milionů litrů řepkového oleje za téměř 5 000 000 korun. Jeho prodej tak stoupl o 26 % oproti oleji slunečnicovému a olivovému, jejichž spotřeba poklesla (Škeřík, 2014).

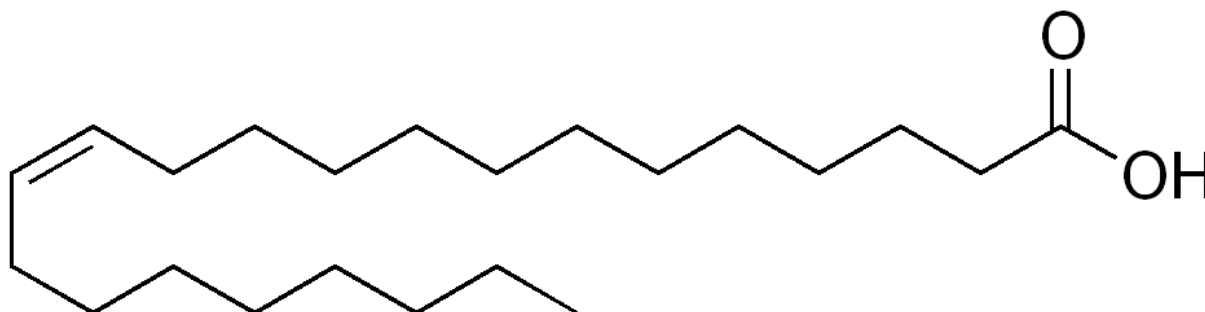
Tabulka č. 4 Spotřeba řepkového oleje v ČR v porovnání s ostatními rostlinnými oleji (v tis. litrech) (Škeřík, 2014)

Rok	2013	2014	2015
Slunečnicový	30 332	31 299	29 403
Řepkový	14 688	12 387	15 637
Olivový	3 271	3 444	3 304

3.7.7 Kyselina eruková

Řepkový olej má vysoký obsah mononenasycené mastné kyseliny s dlouhým řetězcem, jímž je kyselina eruková. Kyselina eruková má 22 uhlíků a jednu dvojnou vazbu mezi nimi (C22: 1) (Obr. 2). Nízký obsah kyseliny erukové je žádoucí u jedlých olejů z hlediska možnosti nepříznivých účinků na zdraví nejenom člověka (Coonrod et al., 2008). Podle Beare et al. (1963) byly zjištěny účinky na zdraví zvířat jako je inhibice růstu vedoucí až ke smrti jedince při krmení větším množstvím. Z hlediska lidské výživy je nežádoucí obsah kyseliny erukové, která způsobuje kardiální lipózu, špatnou resorpci při trávení a retardaci růstu (Trojan, 2003).

Obrázek č. 2. Chemická struktura kyseliny erukové



(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Erucic_acid.png)

3.7.7.1 Obsah kyseliny erukové v „moderním“ řepkovém oleji

Obsah kyseliny erukové je jednou z nejdůležitějších vlastností. Tento znak je úzce spojován s kvalitou řepkového oleje a jeho důležitostí pro lidské zdraví. Tím, že v dnešní době produkce a spotřeba řepkového oleje výrazně stoupla, stouply i nároky spotřebitelů na jeho kvalitu. Spotřebitelé obvykle preferují řepkový olej s nižší či nulovou hodnotou kyseliny erukové (Shi et al., 2003).

Její maximální podíl v oleji může činit u osiva „00“ odrůd ve stupni SE, E 0,3 % a ve stupni C 0,8 % (Vyhláška Ministerstva zemědělství č.369/2009 Sb.). Zpracovatelský průmysl požaduje podle normy její zastoupení maximálně do 2 % ve sklizeném semeni. U pěstitelů

nastává nebezpečí zvýšení jejího obsahu při používání tzv. „farmářského osiva“. V současnosti je obvykle zastoupení této mastné kyseliny tak nízké, že jeho hodnota je menší než 0,05 % (Zehnálek et Kraus, 2016).

Tabulka č. 5 Olejnatost a složení mastných kyselin ozimé řepky (Vašák, 2000)

Typ řepky	Olejnatost (%)	Mastné kyseliny (%) – počet uhlíků : počet dvojných vazeb					
		palmitová	stearová	olejová	linolová	linolenová	eruková
		C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C22:1
Eruková	47 – 50	3 – 4	0,5 – 1	8 – 23	11 – 16	6 – 11	41 – 54
Bezeruková	45 – 47	4 – 5	0,5 – 1	23 – 40	24 – 31	10 – 15	0 – 5
Dvounulová	45 – 48	4 – 5	0,5 – 1	23 – 40	24 – 31	10 – 15	0 – 5

3.7.7.2 Genetická podstata dědičnosti

Obsah kyseliny erukové v řepce je geneticky řízen dvěma lokusy. Jedná se o lokusy *EA* a *EC* umístěné jak na *A*- tak na *C*- genomu (Harvey et Downey, 1964, Siebel et Pauls, 1989), které ovlivňují kolísání obsahu kyseliny erukové až z 90 % (Jourdren et al., 1996). Přesto však neovlivňují stejnou měrou konečný obsah této kyseliny. Tyto dva lokusy byly v řepce zjištěny pomocí QTL metody (Jourdren et al., 1996; Nesi et al., 2008). Studie zahrnovala křížení jedinců s velmi vysokým obsahem kyseliny erukové a velmi nízkým obsahem kyseliny erukové v parentální generaci (Coonrod et al., 2008).

3.7.7.3 Redukce obsahu kyseliny erukové

Řepka přirozeně akumuluje kyselinu erukovou, která se esterifikuje na glycerolu v sn-1 a sn-2 polohách na úrovni 45 – 50 % z celkového množství mastných kyselin (Nesi et al., 2008).

Olej s vysokým obsahem kyseliny erukové podporoval u myši léze myokardu, abnormální hromadění tuku v živočišných tkáních a současně snižoval hmotnost. I když tyto účinky nikdy nebyli pozorovány na lidech, začala selekce nízkoerukových odrůd (LEAR) čehož bylo dosaženo objevením recesivních alel *EA* a *EC* na obou lokusech zapojených do řízení obsahu kyseliny erukové (Stefansson et al., 1961).

Olej z moderních olejů s nízkým obsahem kyseliny erukové, také nazývaný „0“, postrádá nutričně nežádoucí mastné kyseliny s dlouhým řetězcem (méně než 2 % 20: 1 a 22: 1) a je vysoce ceněn pro obsah mastných kyselin (5 – 7 % nasycených mastných kyselin, 58 – 60 %

mononenasyčených mastných kyselin a 30 – 35 % polynenasyčených mastných kyselin) které splňují dietní doporučení (Nesi et al., 2008).

Dva geny *BnFAE1.1* a *BnFAE1.2*, kódující syntézu β -ketoacyl-CoA, byly v řepce v poslední době klonovány a byla prokázána segregace s *EA* a *EC*. Bylo tak docíleno odstranění čtyř nukleotidů v genu *BnFAE1*, kódujícího mastné kyseliny, které jsou nutričně nežádoucí a jejich obsah je tedy v řepkovém oleji nechtěný (Wu et al., 2008).

3.7.8 Kyselina olejová, linolová a linolenová

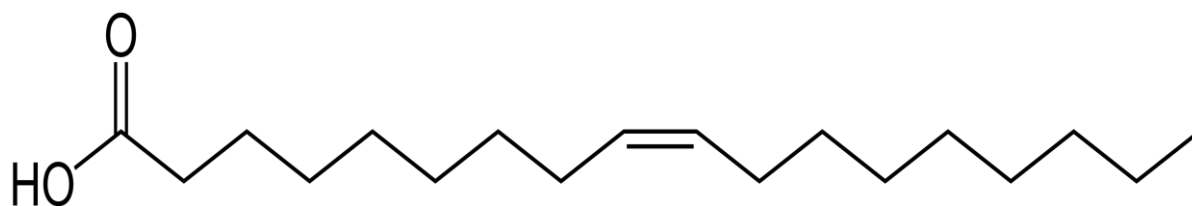
3.7.8.1 Kyselina olejová

Kyselina olejová je mononenasyčená mastná kyselina (Obr. 3) dominantní v řepkovém a olivovém oleji a také v oleji slunečnicovém u některých odrůd typu „high oleic“. V řepkovém oleji u nás registrovaných odrůd se její zastoupení pohybuje od 57 do cca 68 %. Kyselina olejová dobře snáší tepelné namáhání. S rostoucím zastoupením této mastné kyseliny tak stoupá stabilita oleje a vhodnost např. pro smažení (Zehnálek et Kraus, 2016)

V roce 2013 byla registrována u nás první odrůda typu „high oleic“ „HO“ Sidney s vysokým obsahem kyseliny olejové na úrovni cca 75 % a to především na úkor kyseliny linolové. Olej získaný z této odrůdy je zvláště vhodný, jak je výše uvedeno, pro účely, kde je více tepelně namáhán, například smažení (Zehnálek et Kraus, 2016).

Pro ostatní účely jsou naopak vhodnější odrůdy s vyšším obsahem vícenenasyčených mastných kyselin vzhledem k jejich příznivému zdravotnímu působení (Zehnálek et Kraus, 2016).

Obrázek č. 3 Chemická struktura kyseliny olejové



(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/15/Oleic_acid_shorthand_formula.PNG)

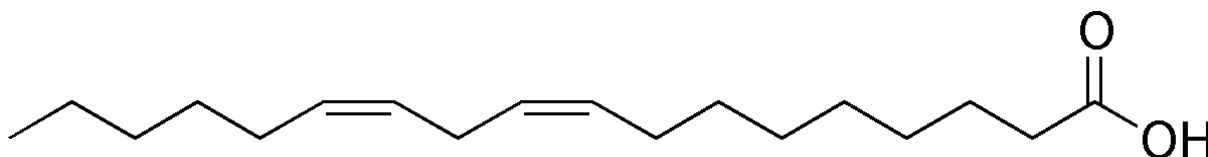
3.7.8.1.1 Gen *FAE1*

Mutační studie uvádí jeden jediný gen, *fae1*, kódující enzym β -keto-acyl syntetázu. Tento gen se nachází na lokusu *E1* umístěném na chromosomu *A8*, a má pouze jeden exon (Lemieux et al., 1990; Coonrod et al., 2008). Fourmann et al. (1998) prokázal, že gen kódující enzym β -keto-acyl syntetázu hraje velkou roli v obsahu kyseliny olejové v řepce olejce.

3.7.9 Kyselina linolová a linolenová

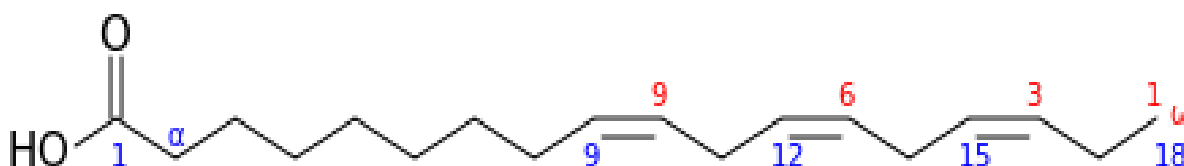
Kyselina linolová a kyselina linolenová jsou esenciální mastné kyseliny, lidský organismus si je není schopen syntetizovat (Coonrod et al., 2008).

Obrázek č. 4 Chemická struktura kyseliny linolové



(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/69/Linoleic_acid.png)

Obrázek č. 5 Chemická struktura kyseliny linolenové



(http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=1524&typ=html)

Kyselina linolová je nenasycená mastná kyselina s dvěma dvojnými vazbami (v literatuře je označována také jako tzv. n-6 nebo ω -6 mastná kyselina) (Obr. 4). Je dominantní mastnou kyselinou slunečnicového oleje. V řepkovém oleji se její zastoupení pohybuje od 15 % respektive 9 % („HO“ odrůda Sidney) do 22 %. Tato mastná kyselina je výrazně méně odolná proti tepelnému namáhání, proto např. tradiční slunečnicový olej je zcela nevhodný pro smažení. Naše populace konzumuje z hlediska výživových doporučení dostatek této mastné kyseliny (Zehnálek et Kraus, 2016).

Linolová kyselina je jednou z důležitých mastných kyselin snižující obsah cholesterolu v krvi (Velíšek, 1999). Kyselina linolová může následně nadměrné množství cholesterolu převést na žlučové soli a tím zabránit ukládání cholesterolu ve stěnách arterií a předcházet onemocnění zvané ateroskleróza. Kyselina linolová je nejen přínosná pro náš krevní oběh, ale je i nezbytným prekursorem pro syntézu prostaglandinu. Prostaglandiny mají významné fyziologické účinky v podobě stimulace vazodilatace cév, kontrakce hladkého svalstva dělohy a inhibice sekrece žaludeční kyseliny (Zhao et al., 2014).

Kyselina alfa-linolenová je nenasycená mastná kyselina s třemi dvojnými vazbami (v literatuře je označována také jako tzv. n-3 nebo ω -3 mastná kyselina) (Obr. 5). Je dominantní

mastnou kyselinou tradičního lněného oleje. V řepkovém oleji se její zastoupení pohybuje od 7 do 10 %. Tato mastná kyselina je nejméně odolná proti tepelnému namáhání, ale je velmi důležitá z hlediska zdravé výživy. Patří mezi esenciální mastné kyseliny. Naše populace konzumuje z hlediska výživových doporučení tuto mastnou kyselinu v nedostatečné míře. Řepkový olej je jejím nejdůležitějším zdrojem (Zehnálek et Kraus, 2016).

Kyselina linolenová se v oleji vyskytuje ve dvou formách (polohových izomerech). V případě významných olejnin, jako jsou řepka, len, sója, jde o kyselinu alfa-linolenovou. V oleji minoritních olejnin jako jsou pupalka, brutnák nebo v oleji ze semene černého rybízu se vyskytuje kyselina gama-linolenová, která patří mezi n-6 neboli ω -6 mastné kyseliny. Není mastnou kyselinou esenciální, ale uplatňuje se jako významná složka speciálních dietních olejů získávaných z uvedených olejnin (Zehnálek et Kraus, 2016).

Tabulka č. 6 Vzájemný podíl kyseliny linolové a linolenové v řepkovém a olivovém oleji (Mourek, 2009)

Mastné kyseliny	Řepkový olej	Olivový olej
kyselina linolová ω -6 (LA)	21,4	13,1
kyselina α -linolenová ω -3 (ALA)	10,6	1,7
LA : ALA	21,4 : 10,6 = 2,0 : 1	13,1 : 1,7 = 7,7 : 1

Mastné kyseliny jsou uváděny v procentuálním podílu, kdy celkový součet MK = 100 %

3.7.9.1 Syntéza kyseliny olejové, linolové a linolenové

Snížení obsahu polynenasycených MK (především kyseliny linolové, 18: 3) a zvýšení obsahu mononenasycených MK (kyseliny olejové, 18: 1) poskytne vyšší stabilitu oleje a následného použití nejenom pro studenou kuchyni do salátů ale i pro pokrmy vyžadující tepelnou úpravu při vysokých teplotách (Nesi et al., 2008).

Syntéza olejové, linolové a linolenové kyseliny v řepce vyplývá z desaturace kyseliny stearové (Obr. 6). Desaturace probíhá v chloroplastech a endoplazmatickém retikulu (Stumpf et James, 1963). Desaturační enzymy jsou kódovány geny *fad1*, nacházející se na chromozomu A8 ve vzdálenosti 0.0 – 76.00 cM s jedním exonem a *fad2*, nacházejícího se na chromozomu A5 se čtyřmi exony (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>).

Další desaturační enzym je kodován *fad3* genem lokalizovaným na chromozomu A3 nacházejícím se ve vzdálenosti 0.0 – 183.5 cM, v konkrétním lokusu NC 027759.1. Tento gen obsahuje dva exony a kontroluje desaturaci kyseliny linolové na kyselinu linolenovou přidáním další dvojné vazby do molekuly kyseliny linolové. Pochopení enzymatické a genetické kontroly

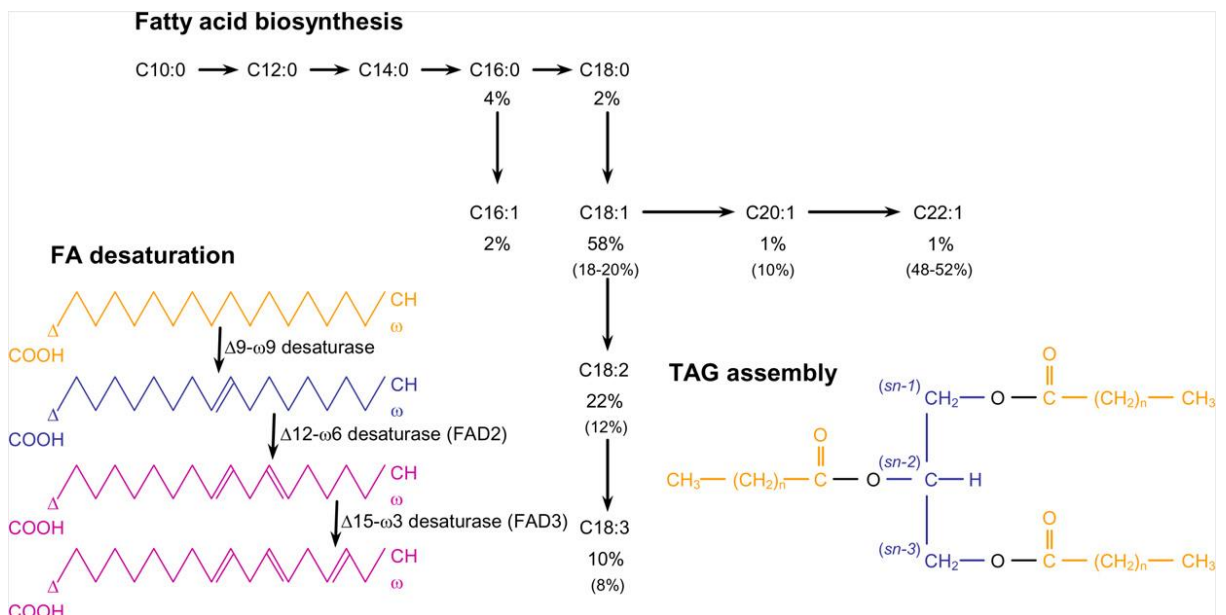
desaturace umožňuje šlechtitelům selekci nových odrůd na obsah specifických mastných kyselin v řepce (Coonrod et al., 2008; <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>).

Pomocí genetické analýzy bylo odhaleno, že jeden nebo dva hlavní lokusy, v závislosti na druhu mutace, odpovídající genu *fad2* a *fad3* kontrolují desaturaci kyseliny stearové na kyselinu olejovou a následně kyseliny olejové na kyselinu linolovou přidáním dvojité vazby do uhlíkového řetězce a tím řídí jejich obsah v řepkovém oleji. (Barret et al., 1998; Coonrod et al., 2008; Schierholt et al., 2001; Jourdren et al., 1996, Nesi et al., 2008).

Některé studie zjistily, že tyto molekulární markery jsou pevně spojeny s oběma znaky. V poslední době *fad2* a *fad3* geny byly zmapovány metodou QTL aby se zjistilo, jak tyto geny ovlivňují obsah obou kyselin a následně se tyto poznatky využily k dalšímu šlechtění (Nesi et al., 2008).

Mutace byly sledovány a identifikovány v jednotlivých sekvencích *fad2* a *fad3* genu a použity markerů pro přímou selekci žádoucích alel pro šlechtění variant s vyšším obsahem olejové kyseliny a nižším obsahem kyseliny linolenové (Hu et al., 2006; Nesi et al., 2008).

Obrázek č. 6 Biosyntéza mastných kyselin (Nesi et al., 2008)



3.7.10 Ostatní mastné kyseliny

Řepkový olej obsahuje nenasycené mastné kyseliny (MK), které se hydrogenují na nasycené MK. Hydrogenace MK podporuje tvorbu trans izomerů, které jsou spojeny s ischemickými srdečními chorobami. Například transgenozé genu *Ch FatB1* kódujícího palmitoyl-ACP thioesterasu má v transgenních semenech za následek zvýšení obsahu kyseliny

palmitové (16: 0) na více než 35 % z celkového množství MK oproti běžným 5 – 10 % v běžných liniích (Jones, 1995; Nesi et al., 2008).

Linie s vysokým obsahem kyseliny stearové (18: 0) získáme buď snížením aktivity stearyl- ACP desaturasy nebo transgenozí genu *Garm Fat1A* kódující acyl-ACP thioesterasu (Hawkins et Kridl, 1998).

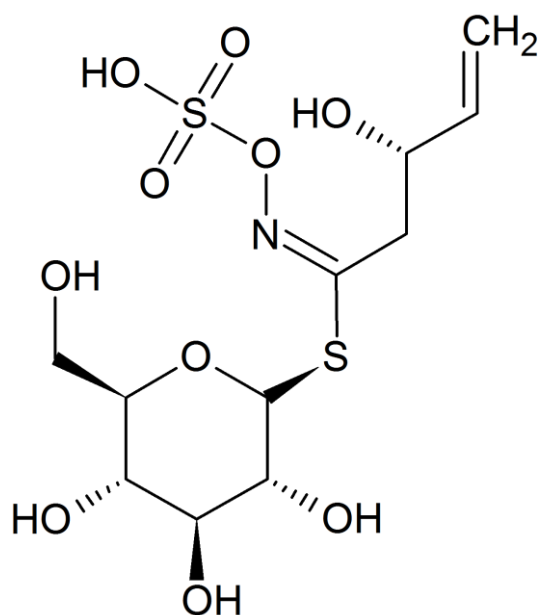
3.8 Glukosinoláty

Glukosinoláty jsou sloučeniny, které ve své molekule obsahují síru (McKinnon et Bowland, 1979). Tvoří významnou skupinu sekundárních metabolitů mnoha rostlin. Jsou zodpovědné za typické štiplavé aroma hořčice a semen řepky. Řadí se mezi antinutriční faktory a v současné době stále probíhá hodnocení jejich pozitivního či negativního působení na zdraví člověka (Velíšek, 1999). Vyskytují se především v rostlinách rodu brukvovitých (*Brassicaceae*) (Hannoufa et al., 2014).

Zatímco složení glukosinolátů je pro každou rostlinu do jisté míry typické a je určováno především genetickými dispozicemi rostliny, celkový obsah gluosinolátů je pak ovlivněn řadou vnějších faktorů během pěstování (klimatické podmínky, napadení škůdci aj.) (Velíšek, 1999).

V semeni řepky můžeme najít až kolem deseti glukosinolátů, kde progoitrin (Obr. 7) a glukonapin tvoří až 75 - 90 % z nich. Glukosinoláty jsou dobře rozpustné ve vodě a mohou se v roztoku hydrolyzovat (Lapčík et al., 2011).

Obrázek č. 7. Chemická struktura gukosinolátu progoitrinu



(<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Progoitrin.png>)

3.8.1 Antinutriční hodnoty glukosinolátů

Samotné glukosinoláty jsou sloučeniny prakticky indiferentní. Biologické účinky vykazují až produkty jejich degradace. Glukosinoláty a jejich některé štěpné produkty vyvolávají vjemy palčivosti, štiplavosti, případně hořkosti. Rozumný příjem glukosinolátů v potravě může být velmi prospěšný, neboť tato skupina látek a jejich deriváty a metabolity slouží jako přírodní pesticidy s antimikrobními či insekticidními účinky (Lapčík et al., 2011).

Ze zdravotního, hlediska při dlouhodobém a nadměrném příjmu glukosinolátů, může dojít ke snížení produkce hormonu thyroxinu T₄, k hypertrofii štítné žlázy, vzniku krvácivosti jater a za určitých okolností k poklesu plodnosti (Lapčík et al., 2011).

3.8.2 Redukce glukosinolátů (GSL)

Moderní pěstované odrůdy typu „00“ mají obsah glukosinolátů 10 – 15 μmol GSL/g semen místo 60 – 100 μmol/g semen ve starých varietách (Hasan et al., 2008).

Podle seznamu doporučených odrůd by obsah glukosinolátů ve sklizni řepky olejky ozimé i jarní u doporučených odrůd neměl být vyšší než 17 g/kg semene při 9 % vlhkosti standardizováno na 46 % obsahu oleje v sušině (Zehnálek et Kraus, 2016).

3.9 Šlechtění řepky

3.9.1 Šlechtění na kvalitu oleje

Nejkvalitnější řepkový olej pro lidskou spotřebu, je ten s nízkým obsahem kyseliny erukové a s vysokým obsahem polynenasycených mastných kyselin, zejména pak obsahem kyseliny olejové (Ze-su et al., 2012).

Po extrakci oleje, se řepkové semeno používá poměrně často jako zdroj bílkovin v krmivech pro zvířata. Přizpůsobení obsahu kyseliny erukové, kyseliny olejové, a obsahu glukosinolátů v řepce, se stalo významným cílem mnoha šlechtitelských programů za účelem zlepšení kvality jedlých olejů (Ze-su et al., 2012). Předchozí studie ukázaly, že obsah kyseliny erukové, obsah kyseliny olejové a obsah glukosinolátů jsou dědičné znaky s různými druhy genů a úrovní heritability (Ze-su et al., 2012).

Jelikož je kvalita oleje dána především genotypem (odrůdou), je do značné míry ovlivnitelná šlechtitelským procesem. V rámci nových výchozích materiálů a efektivních postupů ve šlechtění ozimé řepky jsou mimo jiné řešeny aktivity s cílem zvýšit efektivitu tvorby nových genotypů řepky s požadovaným obsahem mastných kyselin (Kimber et McGregor, 1995).

Významné zefektivnění by měla přinést možnost velmi rané selekce vhodných genotypů ještě před vysetím semen. Kimber et McGregor (1995) analyzovali vzorky řepky ozimé pomocí metody plynové chromatografie a následně posoudili možnost praktického využití minimalizačních postupů pro ranou selekci požadovaných genotypů.

3.9.2 Obsah olejů a jejich množství v řepkovém oleji

Dodnes není zcela znám vhodný genetický model pro obsah oleje v řepce. Je zřejmé, že obsah olejů je řízen komplexně a to několika geny kvantitativního účinku a je ovlivněn různými environmentálními faktory. Nejdříve se myslelo, že obsah olejů je řízen mateřským genotypem, genotypem embrya, cytoplazmou a interakcí podmínek prostředí. Poslední dobou se díky zlepšení genového mapování zjistilo, že obsah olejů je hlavně řízen geny s epistatickými účinky či bez nich (Wang et al., 2010).

Ve srovnání s olivovým olejem, řepkový má nižší obsah kyseliny olejové, vyšší obsah kyseliny linolové a celkově vyšší obsah kyseliny linolové a linolenové, který činí v průměru více než 10 %. V olivovém oleji je obsah kyseliny olejové 65 – 85 % a obsah kyseliny linolové 5 – 12 %. Průměrný obsah kyseliny olejové, kyseliny linolové a linolenové je ve stejném pořadí 64,24 %, 18,16 % a 8,95 % (Zhao et al., 2014).

3.9.3 Ovlivnění olejnatosti semen

Výsledky mapování metodou QTL naznačují, že účinky aditivních genů jsou hlavním faktorem přispívajícím ke změnám v obsahu oleje, přičemž byl brán ohled na epistatický efekt, genotyp a interakce environmentálních faktorů (Wang et al., 2010).

Nejdůležitější roli v olejnatosti semen hraje dominantní efekt. Bylo zjištěno, že dominantní efekt se na olejnatosti semen podílel až z 46,94 %, přičemž značný význam byl kladen na model dominantní epistáze. Dominantní a aditivní účinky společně ovlivňují až ze 70,58 % celkovou olejnatost semen. Z toho vyplývá, že díky selekci a využití heteroze by se mohl efektivně geneticky zlepšit a ovlivnit obsah oleje v řepce (Wang et al., 2010).

Ve studii Wang et al. (2010) výsledky ukázaly, že významný vliv na obsah oleje v semenech má i efekt cytoplasmy. Testování prováděli na recipročním křížení (konkrétně série recipročních křížení) mezi rodiči s vysokým obsahem oleje, středním obsahem oleje a nízkým obsahem oleje.

Xenie efekt (vliv nebo účinek pylu na endosperm nebo embryo, což má za následek hybridní formu, barvu) byl zjištěn v kontextu s olejnatostí semen, kde byl jeho účinek odhadnut na 0,16 % (Wang et al., 2010).

3.9.4 Maternální efekt

Jedná se o vliv mateřského genotypu na fenotyp potomků. Maternální efekt je podle evolučních biologů jeden z nejdůležitějších vlivů na fenotyp potomstva (Marshall et Uller, 2007). Maternální efekt byl testován na porovnání recipročních zpětných křížení potomků pro obsah kyseliny olejové, linolové, linolenové a erukové. Nedostatek rozdílů mezi zpětným křížením v potomstvu naznačuje, že maternální efekt neměl žádný vliv na obsah těchto mastných kyselin. Protože maternální efekt nebyl v této studii potvrzen, nemůže být mateřský genotyp použit ke zvýšení obsahu MK v hybridním křížení (Coonrod et al., 2008).

Tyto výsledky však neodpovídají předchozím článkům, kde Velasco et al. (2003) prokazuje částečný maternální efekt pro obsah kyseliny olejové v řepce olejce. Kondra et Stefansson (1970) také našli vliv maternálního efektu na obsah kyseliny olejové a linolenové.

3.10 Genotyp x environmentální faktory

Hlavní genetické efekty a efekty genotypu x prostředí (GE) byly analyzovány v řepce pro obsah kyseliny erukové. Bylo zjištěno, že embryo, cytoplazma a interakce prostředí současně ovlivňují obsah kyseliny erukové v řepce, a to zejména efekt cytoplazmy. Protože hlavní genetické efekty od exprese genů po různé genetické systémy tvořily okolo 64,1 % z celkových genetických efektů, obsah kyseliny erukové v řepce je převážně kontrolován genetickými účinky (Shi et al., 2003).

Rostliny pěstované v různých lokalitách budou ovlivněny jinými podmínkami prostředí (počasí, půda, agrotechnika). Nicméně, fenotypové variace pro mnoho důležitých kvantitativních vlastností mohou být ovlivněny především genetickými efekty a genotypem x interakcí prostředí (GE). Pro efektivní zlepšení kvantitativních vlastností řepky je užitečné objasnit genetický mechanismus studiem genetických účinků v různých prostředích. (Shi et al., 2003).

3.11 Dědičnost

Je velmi důležité pochopit dědičnou podstatu olejnatosti semen řepky olejky. Dědičnost kvantitativních znaků v semenech řepky je limitní pro kyselinu erukovou a obsah glukosinolátů. Obsah kyseliny erukové závisí na genotypu embrya, nikoli však z mateřské linie, a je řízen dvěma páry genů, tedy čtyřmi geny (Jönsson, 1977; Kondra et Stefansson, 1970; Wang et al., 2010)

3.11.1 Účinky aditivních genů

Účinky aditivních genů mají významný podíl na dědičnosti těchto znaků. Aditivní x aditivní genetické účinky byly významné pro obsah kyseliny olejové a obsah glukosinolátů. Účinky těchto genů jednoznačně přispěly k dědičnosti těchto dvou výše uvedených látek (Ze-su et al., 2012).

Odhad heritability byl získán pro znaky uvedené v tabulce 7. Heritabilita v širším smyslu na které se podílí celková genetická proměnlivost, byla obecně vyšší než heritabilita v užším smyslu, kde se podílí pouze aditivní genetická proměnlivost, a to u všech uvedených znaků. Rozdíl je způsoben vlivem akce neaditivních genů. Hodnoty pro obsah kyseliny erukové uvádí, že se jedná o vysoce dědivý znak, který je ovlivněn převážně aditivním genetickým účinkem (Ze-su et al., 2012).

Tabulka č. 7 Odhad heritability pro jednotlivé znaky (Ze-su et al., 2012)

Characters (%)	Obsah kyseliny olejové	Obsah kyseliny erukové	Obsah glukosinolátů
h^2 (b)	93.68	98.97	86.17
h^2 (n)	45.94	98.62	50.06

h^2 (b)=broad sense heritability (heritabilita v širším smyslu)

h^2 (n)=narrow sense heritability (heritabilita v užším smyslu)

3.11.1.1 Výsledky

Podle výsledků se na obsahu kyseliny olejové v semenech řepky olejky podílí jak aditivní geny, tak neaditivní geny. Oba druhy genů měly významný účinek. Bylo tak posouzeno z výsledků vysoké hodnoty heritability v širším smyslu a heritability v užším smyslu (Ze-su et al., 2012).

Obsah glukosinolátů měl relativně vysokou heritabilitu v obou případech. Výsledky však poukazují na významné přispění neaditivních genů (Ze-su et al., 2012).

Ve studii Ze-su et al. (2012) bylo prokázáno, že ne všechny uvedené znaky se řídí podle modelu dominance s účinkem aditivních genů. To poukazuje na přítomnost epistatických efektů pro tyto znaky. Jak aditivní tak neaditivní účinek tyto znaky ovlivňoval. Nicméně, neaditivní účinky nebyly důležité u obsahu kyseliny erukové a olejové, zatímco aditivní účinek byl pro tyto dva znaky nezbytný.

3.11.1.2 Minimální počet řídicích genů

Odhady počtu genů pro všechny zkoumané znaky jsou uvedeny v tabulce 8. Výsledky byly získány ze tří vzorců použitých ve studii Ze-su et al. (2012). Odhady pro kyselinu olejovou a erukovou indikují, že nejméně dva páry genů, tedy čtyři geny, kontrolují rozdíly těchto znaků a počet genů řídicí obsah glukosinolátů se odhaduje na tři páry genů, tedy 6 genů.

Tabulka č. 8 Odhad počtu genových párů řídicí jednotlivé znaky (Ze-su et al., 2012)

Znaky (%)	Obsah kyseliny olejové	Obsah kyseliny erukové	Obsah glukosinolátů
k ₁	1.80	1.87	2.39
k ₂	1.82	1.85	2.22
k ₃	2.10	1.93	2.49

Hodnoty k₁, k₂ a k₃ představují tři vzorce použité v tomto pokusu na odhad genových párů řídicích jednotlivý obsah zmíněných kyselin.

3.12 Sekundární metabolity

Jak je zřejmé z článku Hannoufa et al. (2014), který se zaměřuje na výzkum sekundárních metabolitů (karotenoidy), které ovlivňují kvalitu semene, v našem případě množství oleje v nich obsaženého, jsou sekundární metabolity součástí v procesu šlechtění řepky olejky.

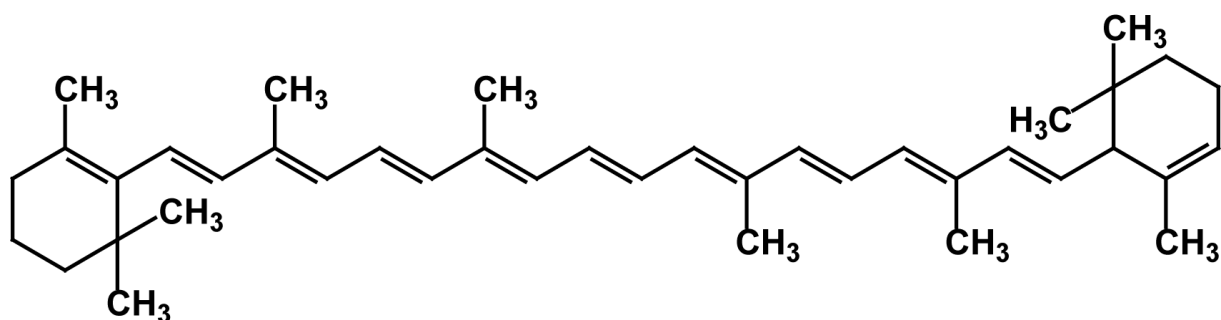
3.12.1 Karotenoidy

Karotenoidy jsou barviva rostlin, hub, řas, mikroorganismů a živočichů. Jedná se o lipofilní organické látky ze skupiny tetraterpenoidů. Za svoji barevnost vděčí řetězci konjugovaných dvojných vazeb. Dělí se na dvě základní skupiny: karoteny (červené barvivo) a xanthofyly (žluté barvivo). Vyskytují se v rostlinách jako fotosyntetická barviva, kde mají výrazné antioxidační účinky (Gross, 1991).

3.12.1.1 Karoteny

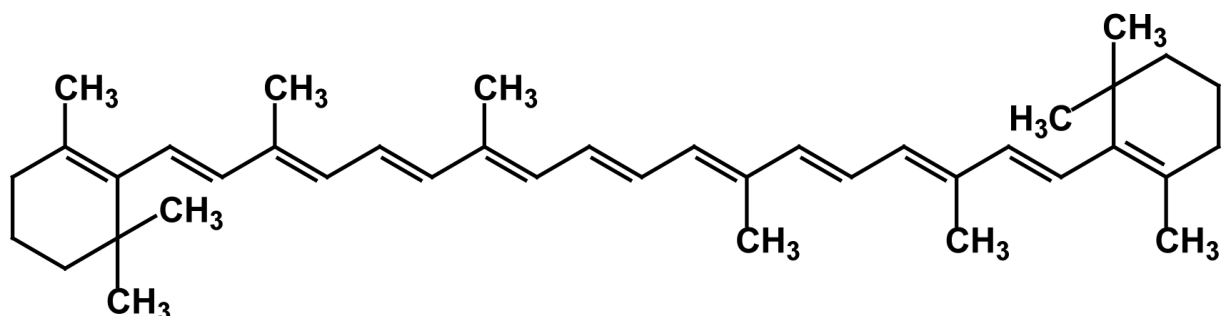
Karoteny jsou přídatná fotosyntetická barviva nacházející se v buněčné membráně. Jsou lipofilního charakteru, čili jsou rozpustné v tucích a chrání buňku před poškozením slunečními paprsky. Zachycenou energii předávají karoteny chlorofylům pomocí fotosystému II, kde je využívána v první fázi fotosyntézy k excitaci elektronů. Rozlišujeme zde dvě základní formy a to alfa-karoten (Obr. 8) a beta-karoten (Obr. 9) (Procházka, 1998; Voet et Voet, 1995).

Obrázek č. 8. Chemická struktura alfa-karotenu



(<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/Alpha-carotene.png>)

Obrázek č. 9. Chemická struktura beta-karotenu

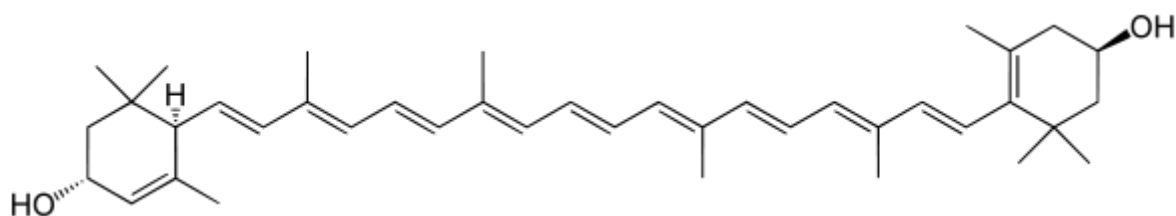


(<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/da/Beta-carotene.png>)

3.12.1.2 Xanthofyly

Xanthofyly jsou významná přídatná fotosyntetická barviva, která barví od žluté až po červenofialovou barvu. Mají velmi podobnou strukturu jako karoteny, avšak obsahují ve svých molekulách také atomy kyslíku. Mezi známé xanthofyly patří kapsanthin, lutein (Obr. 10) či zeaxantin (Gross, 1991).

Obrázek č. 10. Chemická struktura luteinu



(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/20/Luteine_-_Lutein.svg)

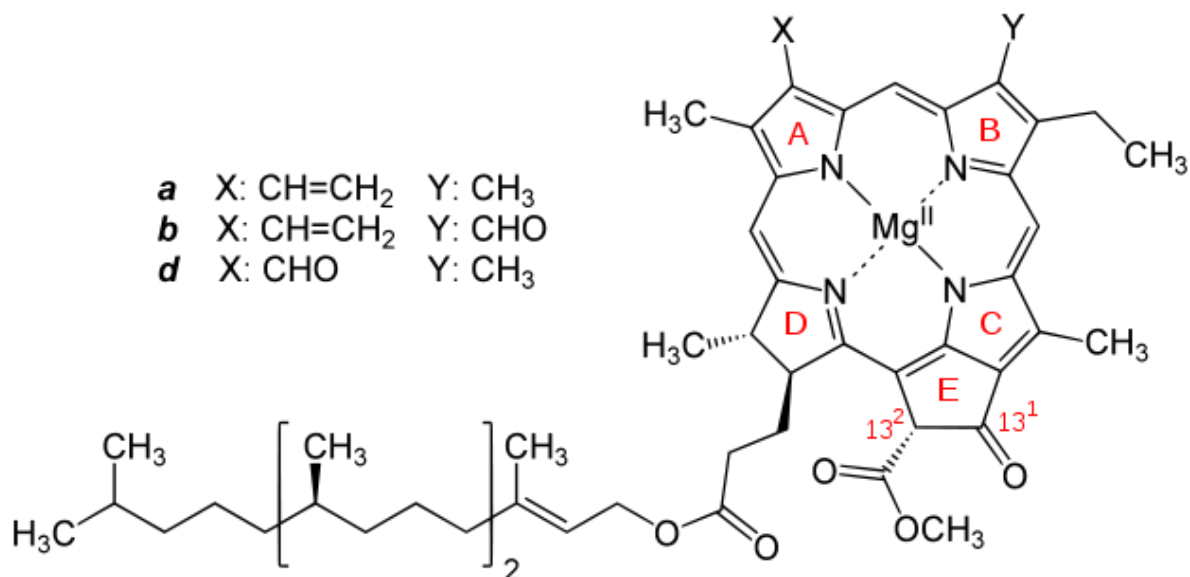
Významné zvýšení karotenoidů bylo doprovázeno zvýšením podílu žádoucí kyseliny olejové a současně snížením poměru kyseliny linolové a linolenové (Hannoufa et al., 2014). Na základě jejich antioxidačních vlastností, karotenoidy poskytují oxidační stabilitu řepkového oleje (Frankel, 2005) a je tedy žádoucí zvýšit akumulaci karotenoidů v semenech řepky olejky (Hannoufa et al., 2014).

3.12.2 Chlorofyl

Chlorofyl (Obr. 11) je přírodní zelené barvivo, které zodpovídá za zelenou barvu rostlinných produktů. Patří k tzv. fotsyntetickým pigmentům a ze světelného spektra absorbuje pouze modrou a červenou část. Tím vzniká zelená barva, která udává barvu všech fotosyntetizujících rostlin. Chlorofyl v průběhu fotosyntézy absorbuje energii světelného záření, kterou následně využívá k syntéze sacharidů z oxidu uhličitého a vody. Jeho působení tak představuje první krok fotosyntézy (Butt, 1977).

Chemicky je chlorofyl definován jako sloučenina s porfyrinovou kostrou s centrálním atomem hořčíku. Doposud známé chlorofyly jsou a, b, c, d, e a f. Molekuly chlorofylu se nacházejí na thylakoidních membránách, které jsou u rostlin umístěné v chloroplastech. Tam společně s bílkovinami tvoří základ pro fotosyntézu (Butt, 1977).

Obrázek č. 11. Chemická struktura chlorofylu



(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cf/Chlorophyll_a_b_d.svg)

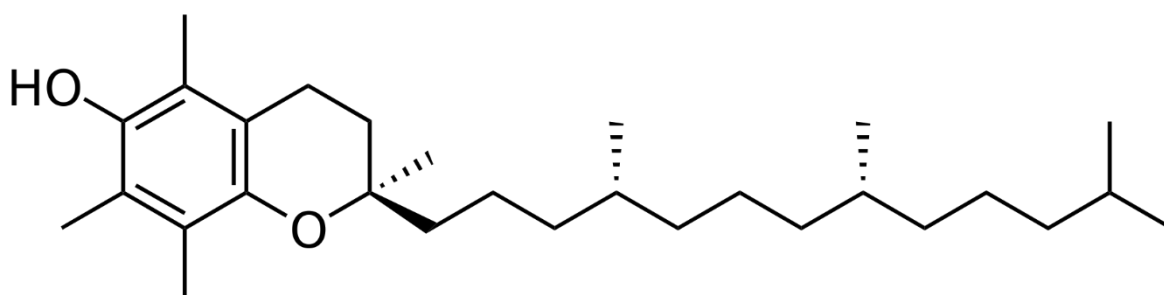
Chlorofyl je jedním z hlavních faktorů, které negativně ovlivňují kvalitu oleje. Kromě zvýšení výskytu žluknutí oleje, chlorofyl dodává oleji zelený vzhled, což je

neakceptovatelné nejenom v průmyslu, ale i u spotřebitelů. Většina chlorofylu je degradována během zrání semen, ale pokud je přítomen je prakticky nemožné ho odstranit při extrakci oleje (Hannoufa et al., 2014).

3.12.3 Tokoferol (vitamín E)

Vitamín E (Obr. 12) působí jako antioxidant a chrání buňky před oxidačním poškozením volnými radikály. Existuje osm přirozeně se vyskytujících forem vitaminu E (čtyři tokoferoly a čtyři tokotrienoly) nacházející se v rostlinách. Všichni sdílejí společnou strukturu, ale biologická aktivita každé formy se značně liší. Rostlinné oleje jsou nejbohatším zdrojem vitamínu E. Tokoferoly snadno pronikají do buněčných membrán a stávají se tak jejich součástí. (Foster et al., 2009).

Obrázek č. 12. Chemická struktura vitamínu E



(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ad/Tocopherol%2C_alpha-.svg)

Semena řepky olejky obsahují malé množství tokoferolu a stejně jako u karotenoidů, hodně je ho degradováno při extrakci oleje (Hannoufa et al., 2014).

Podle Fritsche (2012) je obsah tokoferolu v semenech řepky vysoce dědivý znak. Vysoký polymorfismus byl odhalen v genech tokoferolu *BnaX.VTE3.a* a *BnaA.PDS1.c*, a poukázal tak, že hodnota těchto dvou genů má velký význam pro výběr genotypů využitelných ve šlechtění řepky za účelem vyššího obsahu tokoferolů (Hannoufa et al., 2014).

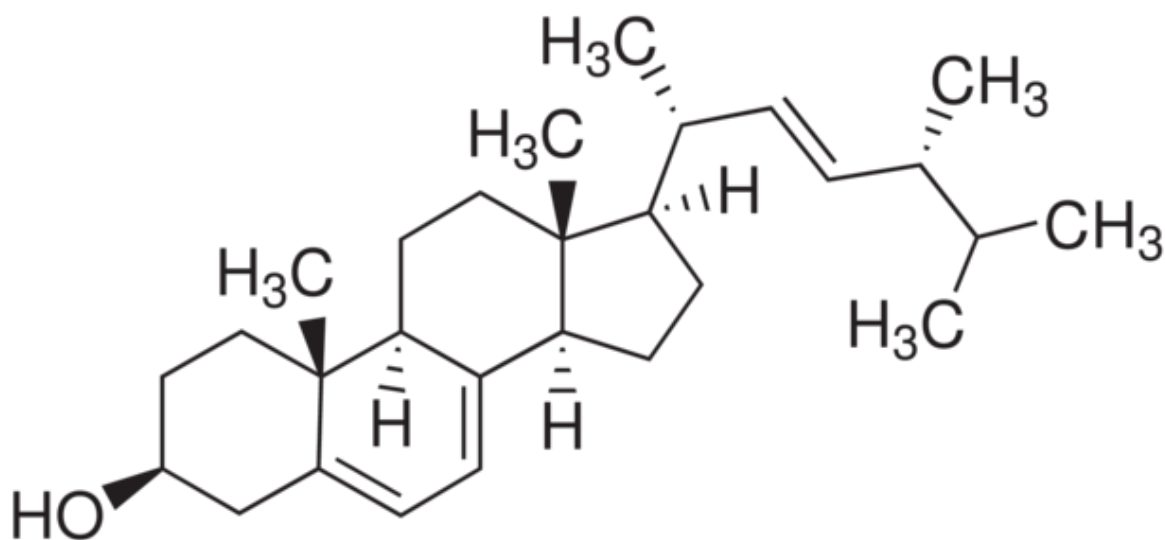
3.12.4 Rostlinné steroly = fytosteroly

Rostlinné steroly neboli fytosteroly (Obr. 13) jsou lipidy rostlin. Steroly jsou základní součástí buněčných membrán, které hrají významnou roli při kontrole membránové fluidity a propustnosti. Z rostlin je izolováno přes 250 různých sterolů (Foster et al., 2009). Tyto přirozeně se vyskytující sloučeniny mají strukturu podobnou cholesterolu a jsou známy především pro jejich přínosy na lidské zdraví (Tamura et al., 1992; Ling et Jones, 1995).

Zlepšuje cholesterolový profil a může tak pomoci snížit riziko vzniku ischemické choroby srdeční (Foster et al., 2009).

Semena řepky olejky obsahují malé množství tokoferolů rozpustných v oleji a jejich celkový obsah je mírně ovlivněn genotypem odrůdy a pěstební lokalitou (Hamama et al., 2003).

Obrázek č. 13. Chemická struktura jednoho ze zástupců fytoosterolů, ergosterolu



(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/Ergosterol_structure.svg)

3.13 Vlivy pěstebních faktorů

Mezi hlavní pěstební faktory se řadí např. termín setí, hustota rostlin či množství dusíkatých a fosforečných hnojiv. Jejich účinky mají také vliv na kvalitu semen řepky olejky a následně na olej z nich vyrobený (Zhao et al., 2014).

Pěstební faktory mají vliv především na olejnatost semen a jeho stabilitu. Studie se zabývala celkovým obsahem mastných kyselin, nikoli jednotlivým zastoupením. Proto zde není uveden konkrétní vliv na kyselinu erukovou.

3.13.1 Vliv termínu a hustoty výsadby na kvalitu a stabilitu olejnatosti semen

Zhao et al. (2014) provedli korelační analýzu pro olejnatost semen, konkrétně obsah nenasycených mastných kyselin a celkový obsah kyseliny linolové a linolenové. Ve studii bylo zjištěno, že je korelační koeficient velmi malý. Z tohoto údaje vyplývá, že datum setí má na stabilitu a olejnatost semen řepky malý účinek a to především z hlediska obsahu kyseliny linolové a linolenové. Dále se ukázalo, že zvýšení hustoty rostlin by mohlo zlepšit kvalitu oleje, ale na druhou stranu snížit jeho stabilitu v semenech (Zhao et al., 2014).

3.13.2 Množství dusíkatých a fosforečných hnojiv na kvalitu a stabilitu oleje

Zvýšení dusíkatých hnojiv by mohlo mít pozitivní vliv především na obsah kyseliny linolové a linolenové avšak pravděpodobně sníží stabilitu oleje v semenech řepky olejky (Zhao et al., 2014).

Zvýšení fosforečných hnojiv má nepříznivý vliv na množství nenasycených mastných kyselin a kyseliny linolové a linolenové. Může však zvýšit stabilitu oleje v semenech řepky olejky (Zhao et al., 2014).

4 Diskuse

Tato bakalářská práce uceluje a shromažďuje doposud publikované informace v problematice šlechtění řepky olejky a následné kvality řepkového oleje z ní vyrobeného z pohledu genetiky, konkrétně dědičných a nedědičných faktorů.

Řepkový olej obsahuje vysoké procento mastných kyselin. Ty prospívají našemu organismu a mají na něj pozitivní účinky. Podle dostupné literatury bylo zjištěno, že olejnatost semen je řízena modelem dominantní epistáze (Wang et al., 2010). Na této informaci se shodlo hned několik studovaných publikací (Ze-su et al., 2012; Wang et al., 2010), kde se uvádí i důležitost aditivních genetických efektů pro hlavní mastné kyseliny obsažené v řepkovém oleji.

Olejnatost semen je kvantitativní znak. Na jehož obsahu se tedy podílí nejenom aditivní efekty ale i epistatický efekt, getotyp a interakce prostředí. Domnívám se tedy, že správnou selekcí vhodného genotypu a interakcí příznivých environmentálních podmínek jsme schopni šlechtit řepku tak, aby odpovídala dnešním standardům.

Snaha o redukci obsahu kyseliny erukové pod 2 % z celkového obsahu mastných kyselin vyplývá z jejích nežádoucích účinků na lidské zdraví. Kyselina eruková je jeden z vysoce dědivých znaků ovlivněný aditivními genetickými efekty.

Zatímco složení glukosinolátů je pro každou rostlinu do jisté míry typické a je určováno především genetickými dispozicemi rostliny, celkový obsah gluosinolátů je pak ovlivněn řadou vnějších faktorů během pěstování, např. klimatické podmínky, napadení škůdci aj (Velíšek, 1999).

Je třeba zmínit roli maternálního efektu, který je v mnoha studiích zmiňován. Tato informace se podle druhu literatury značně liší (Coonrod et al., 2008), což potvrzuje studie Wang et al. (2010), kde je uvedeno, že maternální efekt měl podíl na dědivost olejnatosti semen. Podle vyhodnocení získaných informací je zřejmé, že jeho efekt není nijak značný a nebyl potvrzen.

Společně s genotypem tvoří environmentální faktory značnou roli, což má vliv na kvantitativní vlastnosti semenech řepky. Podle studií bylo prokázáno, že obsah kyseliny erukové, obsah kyseliny olejové a obsah glukosinolátů jsou dědičné faktory na různé úrovni heritability.

5 Závěr

Nutriční hodnoty řepkového oleje závisí především na zastoupení jednotlivých mastných kyselin. Výběrem vhodného postupu při šlechtění je dnes možné šlechtit řepku olejku pro účely potravinářské, s minimálním obsahem kyseliny erukové a nízkým obsahem glukosinolátů.

Obsah kyseliny erukové, obsah kyseliny olejové a obsah glukosinolátů jsou dědicné faktory na různé úrovni heritability.

Dědivost byla zjištěna u obsahu kyseliny erukové a olejové. Jedná o vysoce dědivý znak. Výjimkou jsou glukosinoláty, kde je heritabilita nižší a jak aditivní, tak neaditivní genetické efekty ovlivňují jejich množství v semenech. Glukosinoláty jsou určovány genetickými predispozicemi rostliny a jejich celkový obsah je ovlivněn řadou faktorů během pěstování.

Podle dostupné literatury bylo zjištěno, že olejnatost semen je řízena modelem dominantní epistáze. Nesmíme však opomenout aditivní genetické efekty důležité pro kontrolu všech hlavních mastných kyselin jako je kyselina eruková, olejová, linolová a linolenová a tedy na celkovou olejnatost semen. Olejnatost semen je kvantitativní znak, který může být ovlivněn vlivy prostředí. Tyto znaky je možné identifikovat pomocí QTL metody, která je v této problematice značně využívána. Na obsahu oleje v semen se podílí nejenom aditivní efekty ale i epistatický efekt, genotyp a interakce prostředí.

Maternální efekt pro olejnatost semen je zmiňován ve spoustě článcích souvisejících s touto problematikou. Ve většině z nich však jeho efekt na olejnatost semen nebyl potvrzen.

6 Zdroje

Baranyk, P. 2015. Stanovisko k odrůdové skladbě řepky pro rok 2015/2016: doporučení SPZO. 1. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin. Praha. ISBN: 978-80-87065-59-4.

Barret, P., Delourme, R., Renard, M., Demergue, F., Lessire, R., Delseny, M., Roscoe, T. J. 1998. A rapeseed FAE1 gene is linked to the E1 locus associated with variation in the content of erucic acid. TAG Theoretical and Applied Genetics. 96 (2). 177-186. ISSN: 0040-5752.

Beare, J. L., Campbell, J. A., Youngs, C. G., Craig, B. M. 1963. Effects of saturated fat in rats fed rapeseed oil. Biochemistry and Cell Biology. 41 (3). 605-612. ISSN: 1208-6002.

Blažek, J., Rábl, V. 2006. Základy zpracování a využití ropy. 2. Vydavatelství VŠCHT. Praha. 254 s. ISBN: 80-708-0619-2.

Broman, K. W., Wu, H., Sen, S., Churchill, G. A. 2003. QTL mapping in experimental crosses. Bioinformatics. 19 (7). 889-890. ISSN: 1367-4803.

Butt, V. S. 1977. Chemistry and biochemistry of plant pigments. FEBS Letters. 74 (1). 155-155. ISSN: 00145793.

Coonrod, D., Brick, M. A., Byrne, P. F., DeBonte, L., Chen, Z. 2008. Inheritance of long chain fatty acid content in rapeseed (*Brassica napus* L.). Euphytica. 164 (2). 583-592. ISSN: 0014-2336.

Das, U. N. 2004. Perinatal supplementation of long-chain polyunsaturated fatty acids, immune response and adult diseases. Med Sci Monit. vol. 10(5). 19-25.

Diepenbrock, W., Fischbeck, G. 1999. Spezieller Pflanzenbau. 3. Ulmer. Stuttgart. 523 s. ISBN: 38-252-0111-2.

Ernst, E. 1989. Effects of n-3 fatty acids on blood rheology. Journal of Internal Medicine. 225. 129-32.

- Foster, R., Williamson, C. S., Lunn, J. 2009. Briefing Paper: Culinary oils and their health effects. *Nutrition Bulletin*. 34 (1). 4-47. ISSN: 14719827.
- Fourmann, M., Barret, P., Renard, M., Pelletier, G., Delourme, R., Brunel, D. 1998. The two genes homologous to *Arabidopsis* FAE1 co-segregate with the two loci governing erucic acid content in *Brassica napus*. *TAG Theoretical and Applied Genetics*. 96 (6-7). 852-858. ISSN: 0040-5752.
- Frankel, E. N. 2005. *Lipid oxidation*. 2. Oily Press. Bridgwater. ISBN: 978-095-3194-988.
- Fritsche, S. 2012. A candidate gene-based association study of tocopherol content and composition in rapeseed (*Brassica napus*). *Frontiers in Plant Science*. 3. ISSN: 1664462x.
- Gross, J. 1991. *Pigments in Vegetables*. Springer US. Boston, MA. ISBN: 978-1-4613-5842-8.
- Hamama, A. A., Bhardwaj, H. L., Starner, D. E. 2003. Genotype and growing location effects on phytosterols in canola oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 80 (11). 1121-1126. ISSN: 0003-021x.
- Hannoufa, A., Pillai, B. V. S., Chellamma, S. 2014. Genetic enhancement of *Brassica napus* seed quality. *Transgenic Research*. 23 (1). 39-52. ISSN: 0962-8819.
- Harvey, B. L., Downey, R. K. 1964. The inheritance of erucic acid content in rapeseed (*Brassica napus*). *Canadian Journal of Plant Science*. 44 (1). 104-111. ISSN: 0008-4220.
- Hasan, M., Friedt, W., Pons-Kühnemann, J., Freitag, N. M., Link, K., Showdon, R. J. 2008. Association of gene-linked SSR markers to seed glucosinolate content in oilseed rape (*Brassica napus*). *Theoretical and Applied Genetics*. 116 (8). 1035-1049. ISSN: 0040-5752.
- Hawkins, D. J., Kridl, J. C. 1998. Characterization of acyl-ACP thioesterases of mangosteen (*Garcinia mangostana*) seed and high levels of stearate production in transgenic canola. *The Plant Journal*. 13 (6). 743-752. ISSN: 0960-7412.
- Hejny, S., Slavík, B. (eds.). 1992. *Květena České republiky*. Vyd. 1. Academia. Praha. 542 s. ISBN: 80-200-0256-1.

- Hobbs, D. H. 2004. Genetic Control of Storage Oil Synthesis in Seeds of *Arabidopsis*. *Plant physiology*. 136 (2). 3341-3349. ISSN: 0032-0889.
- Hu, X., Sullivan-Gilbert, M., Gupta, M., Thompson, S. A. 2006. Mapping of the loci controlling oleic and linolenic acid contents and development of fad2 and fad3 allele-specific markers in canola (*Brassica napus* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 113 (3). 497-507. ISSN: 0040-5752.
- Chen, Y., Qi, L., Zhang, X., Huang, J., Wang, J., Chen, H., Ni, X., Xu, F., Dong, Y., Xu, H., Zhao, J. 2013. Characterization of the quantitative trait locus OilA1 for oil content in *Brassica napus*. *Theoretical and Applied Genetics*. 126 (10). 2499-2509. ISSN: 0040-5752.
- Chloupek, O. 2008. Genetická diverzita, šlechtění a semenářství. 3. Academia. Praha. 307 s. Česká matice technická (Academia). ISBN: 978-80-200-1566-2.
- Jones, A. 1995. Palmitoyl-Acyl Carrier Protein (ACP) Thioesterase and the Evolutionary Origin of Plant Acyl-ACP Thioesterases. *The plant cell online*. 7 (3). 359-371. ISSN: 10404651.
- Jönsson, R. 1977. Erucic-acid heredity in rapeseed: (*Brassica napus* L. and *Brassica campestris* L.). *Hereditas*. 86 (2). 159-170. ISSN: 00180661.
- Jourdren, C., Barret, P., Horvais, R., Foisset, N., Delourme, R., Renard, M. 1996a. Identification of RAPD markers linked to the loci controlling erucic acid level in rapeseed. *Molecular Breeding*. 2 (1). ISSN: 1380-3743.
- Jourdren, C., Barret, P., Horvais, R., Delourme, R., Renard, M. 1996b. Identification of RAPD markers linked to linolenic acid genes in rapeseed. *Euphytica*. 90 (3). 351-357. ISSN: 0014-2336.
- Katavic, V., Friesen, W., Barton, D. J., Gossen, K. K., Giblin, E. M., Luciw, T., An, J., Zou, J., MacKenzie, S. L., Keller, W. A., Males, D., Taylor, D. C. 2001. Improving Erucic Acid Content in Rapeseed through Biotechnology. *Crop Science*. 41 (3). 739. ISSN: 1435-0653.
- Kearsey, M. J., Farquhar, A. G. L. 1998. QTL analysis in plants; where are we now? *Heredity*. 80 (2). 137-142. ISSN: 0018-067x.

Kimber, D. S., McGregor, D. I. 1995. *Brassica* oilseeds: production and utilization. CAB International. Wallingford, Oxon, UK. ISBN: 08-519-8960-8.

Kondra, Z. P., Stefansson, B. R. 1970. Inheritance of the major glucosinolates of rapeseed (*brassica napus*) meal. Canadian Journal of Plant Science. 50 (6). 643-647. ISSN: 0008-4220.

Lapčík, O., Opletal, L., Moravcová, J., Čopíková, J., Drašar, P. 2011. Přírodní látky a jejich deriváty chuti pálivé. Chemické listy. 105. 452-457.

Lemieux, B., Miquel, M., Somerville, C., Browse, J. 1990. Mutants of *Arabidopsis* with alterations in seed lipid fatty acid composition. Theoretical and Applied Genetics. 80 (2). ISSN: 0040-5752.

Ling, W. H., Jones, P. J. H. 1995. Dietary phytosterols: A review of metabolism, benefits and side effects. Life Sciences. 57 (3). 195-206. ISSN: 00243205.

Marshall, D. J., Uller, T. 2007. When is a maternal effect adaptive? Oikos. 116 (12). 1957-1963. ISSN: 00301299.

McKinnon, P. J., Bowland, J. P. 1979. Effects of feeding low and high glucosinolate rapeseed meals and soybean meal on thyroid function of young pigs. Canadian Journal of Animal Science. 59 (3). 589-596. ISSN: 0008-5286.

Mourek, J. 2009. Mastné kyseliny Omega-3: zdraví a vývoj. 2., rozš. vyd. Triton. Praha. 187 s. ISBN: 978-80-7387-310-3.

Murray, R. K. 2002. Harperova Biochemie. 23. vyd., (4. české vyd.), v H. H. Jinočany. ix, 872 s. Lange medical book. ISBN: 80-731-9013-3.

Nesi, N., Delourme, R., Brégeon, M., Falentin, C., Renard, M. 2008. Genetic and molecular approaches to improve nutritional value of *Brassica napus* L. seed. Science direct. 331. 763 - 771.

Procházka, S. 1998. Fyziologie rostlin. Vyd. 1. Academia. Praha. 484 s. ISBN: 80-200-0586-2.

- Russo, G. L. 2009. Dietary n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids: From biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. *Biochemical Pharmacology*. 77 (6). 937-946.
- Seaton, G., Haley, C. S., Knott, S. A., Kearsey, M., Visscher, P. M. 2002. QTL Express: mapping quantitative trait loci in simple and complex pedigrees: mapping quantitative trait loci in simple and complex pedigrees. *Bioinformatics*. 18 (2). 339-340. ISSN: 1367-4803.
- Shi, C., Zhang, H., Wu, J. 2003. Genetic and genotype \times environment interaction effects analysis for erucic acid content in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Euphytica*. 130. 249-254.
- Schierholt, A., R cker, B., Becker, H. C. 2001. Inheritance of High Oleic Acid Mutations in Winter Oilseed Rape (L.). *Crop Science*. 41 (5). 1444. ISSN: 1435-0653.
- Scholz, J., Jir sek, V. 1974. Nov  agrotechnika p stov n  ozim  řepky. Metodiky pro zav d n  v sledk  v zkumu do praxe  . 7/1974.  AZ- VTI. Praha.
- Siebel, J., Pauls, K. P. 1989. Inheritance patterns of erucic acid content in populations of *Brassica napus* microspore-derived spontaneous diploids. *Theoretical and Applied Genetics*. 77 (4). 489 - 94. ISSN: 0040-5752.
- Stefansson, B. R., Hougen, F. W., Downey, R. K. 1961. Note on the isolation of rape plants with seed oil free from erucic acid. *Canadian Journal of Plant Science*. 41 (1). 218-219. ISSN: 0008-4220.
- Stumpf, P. K., James, A. T. 1963. The biosynthesis of long-chain fatty acids by lettuce chloroplast preparations. *Biochimica et Biophysica Acta*. 70. 20-32. ISSN: 00063002.
-  keř k, J. 2014. Kv ty olejn : tiskovina pro  leny Svazu p stitel  a zpracovatel  olejn  (SPZO). Svaz p stitel  a zpracovatel  olejn . Praha. XXI. (4). ISSN: 1213 - 1989.
- Tamura, T., Akihisa, T., Kokke, W. 1992. Naturally Occurring Sterols and Related Compounds from Plants. *Physiology and Biochemistry of Sterols*. AOCs Publishing. 172 - 177. ISBN: 978-0-935315-38-7.

- Tláskal, P. 2011. Referenční hodnoty pro příjem živin. 1. Společnost pro výživu. Praha. 192 s. ISBN: 978-80-254-6987-3.
- Trojan, S. 2003. Lékařská fyziologie. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Grada. Praha. 771 s. ISBN: 80-247-0512-5.
- Vašák, J. 2000. Řepka. Agrospoj. Praha. 321 s. Semafor. ISBN: 80-239-4236-0.
- Velasco, L., Fernández-Martínez, J. M., De Haro, A. 2003. Inheritance of Increased Oleic Acid Concentration in High-Erucic Acid Ethiopian Mustard. *Crop Science*. 43 (1). 106. ISSN: 1435-0653.
- Velišek, J. 1999. Chemie potravin. Vyd. 1. OSSIS. Tábor. 3 sv. ISBN: 80-902-3914-5.
- Voet, D., Voet, J. G. 1995. Biochemie. 1. vyd. Victoria Publishing. Praha. 1325. ISBN: 80-856-0544-9.
- Wang, X., Liu, G., Yang, Q., Hua, W., Liu, J., Wang, H. 2010. Genetic analysis on oil content in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Euphytica*. 173 (1). 17-24. ISSN: 0014-2336.
- Wu, G., Wu, Y., Xiao, L., Li, X., Lu, Ch. 2008. Zero erucic acid trait of rapeseed (*Brassica napus* L.) results from a deletion of four base pairs in the fatty acid elongase 1 gene. *Theoretical and Applied Genetics*. 116 (4). 491-499. ISSN: 0040-5752.
- Ze-su, H., Paisan, L., Thitiporn, M. 2012. Inheritance of Erucic Acid, Glucosinolate, and Oleic Acid Contents in Rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Northeast Agricultural University*. 19 (2). 1-8.
- Zehnálek, P., Kraus, P. 2016. Olejníny 2016: Seznam doporučených odrůd řepky olejky 2016. 1. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno. Brno. ISBN: 978-80-7401-119-1.
- Zehnálek, P. 2006. Seznam doporučených odrůd - řepka olejka. 1. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Odbor odrůdového zkušebnictví. Brno. ISBN: 80-865-4875-9.

Zhao, J., Du, C., Ren, T., Cheng, G., Wang, X. 2014. Effect of Main Cultivation Factors on Oil Quality and Stability of Brassica napus Hybrids. Agricultural Science & Technology. vol.15(5). 795-800. ISSN: 1009-4229.

National Center for Biotechnology Information [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

7 Seznam příloh

7.1 Seznam obrázků

Obrázek č. 1 Graf zastoupení jednotlivých druhů na celkové ploše olejnin v České republice v roce 2015 – str. 11

Obrázek č. 2. Chemická struktura kyseliny erukové – str. 22

Obrázek č. 3 Chemická struktura kyseliny olejové – str. 24

Obrázek č. 4 Chemická struktura kyseliny linolové – str. 25

Obrázek č. 5 Chemická struktura kyseliny linolenové – str. 25

Obrázek č. 6 Biosyntéza mastných kyselin – str. 27

Obrázek č. 7. Chemická struktura glukosinolátu progoitrinu – str. 28

Obrázek č. 8. Chemická struktura alfa-karotenu – str. 34

Obrázek č. 9. Chemická struktura beta-karotenu – str. 34

Obrázek č. 10. Chemická struktura luteinu – str. 34

Obrázek č. 11. Chemická struktura chlorofylu – str. 35

Obrázek č. 12. Chemická struktura vitamínu E – str. 36

Obrázek č. 13. Chemická struktura jednoho ze zástupců fytoosterolů, ergosterolu – str. 37

7.2 Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Rozdělení odrůd řepky olejky ozimé podle obsahu kyseliny erukové a glukosinolátů – str. 16

Tabulka č. 2 Obsah nasycených, monoenových a polyenových MK v některých olejích (% veškerých MK) – str. 20

Tabulka č. 3 Rozdělení ω -6 a ω -3 mastných kyselin – str. 21

Tabulka č. 4 Spotřeba řepkového oleje v ČR v porovnání s ostatními rostlinnými oleji (v tis. litrech) – str. 22

Tabulka č. 5 Olejnatost a složení mastných kyselin ozimé řepky – str. 23

Tabulka č. 6 Vzájemný podíl kyseliny linolové a linolenové v řepkovém a olivovém oleji – str. 26

Tabulka č. 7 Odhad heritability pro jednotlivé znaky – str. 32

Tabulka č. 8 Odhad počtu genových párů řídící jednotlivé znaky – str. 33