



Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Institutionen för livsmedelsvetenskap

Rapsolja - Användning, kemisk sammansättning och odlingsfaktorer

Rapeseed oil- Utilization, chemical composition and cultivation factors

Maria Smitterberg



Självständigt arbete • 15 hp • Grundnivå , Agronomprogrammet Livsmedel

Institutionen för Livsmedelsvetenskap

Publikation nr 327

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Food Science

Uppsala 2011

Rapsolja – Användning, kemisk sammansättning och odlingsfaktorer

Rapeseed oil – Utilization, chemical composition and cultivation factors

Maria Smitterberg

Handledare: Paresh Dutta

Btr handledare: Samantha Madawala

Examinator: Lena Dimberg

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grund, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i livsmedelsvetenskap kandidatarbete, 15 hp

Kurskod: EX0669

Program/utbildning: Agronomprogrammet Livsmedel

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2011

Omslagsbild: Maria Smitterberg

Serietitel: nr:

ISSN:

ISBN:

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Rapsolja, kemisk sammansättning, rapsodling, odlingsfaktorer.



Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Institutionen för livsmedelsvetenskap
Livsmedelskemi

Sammanfattning

Genom litteraturstudien undersöktes rapsoljans kemiska sammansättning och faktorer som påverkar sammansättningen av rapsfröet och rapsoljan under odling.

Raps (*Brassica napus*) tillhör *Brassicaceae* och är en diploid korsning mellan kålrot (*B. oleracea*) och rybs (*B. rapa*). Vid vegetativ fas bildas blad och pålroten etableras. Avkastningspotentialen bestäms under blomningen då självbefruktnings och befruktning genom pollinerande insekter sker. Under fröfyllnadsfasen formas den kemiska sammansättningen i rapsfröet (40-45 % olja, 20 % protein, mindre mängder fenoliska föreningar och glukosinolater).

Rapsodlingen anpassas till lokala odlingsmetoder. Vår- och höstvarianter odlas vart 4:e-6:e år. I södra Sverige odlas raps genom direktsådd eller konventionell odlingsmetod och skördas genom direkttröskning eller tröskning efter strängläggning. Växtföljder som inkluderar raps medför fördelar (minskat skadedjurstryck, minskade patogener och ökad avkastning för efterföljande gröda). Sveriges medelavkastning räknas internationellt till de högre.

I början av oljeväxtodlingen odlades raps för industriella ändamål. Under slutet av 1900-talet ökade efterfrågan på rapsolja till humankonsumtion och rapsodlingen i världen ökade kraftigt. Eftersom de ätbara sorterna innehöll höga halter av erukasyra och glukosinolater förädlades de till sorten (canola) med lägre halter pga. oro för hälsoeffekter för människan. Idag finns flera vegetabiliska oljor där sojabönor, oljepalm och canola utgör de viktigaste. Rapsoljans användningsområde är brett med applikationer inom livsmedelsbranschen (t ex. ren matolja och ingrediens i matfettblandningar) och inom industrin (t ex. dieselbränsle och smörjolja). Globalt är rapsolja en stor handelsvara.

Rapsolja består av triacylglyceroler (92-99 %) och fosfolipider (ca 3 %). Artonkolsfettsyror utgör hela 95 % av de totala fettsyrorerna, där oljesyra dominerar (52-64 %). De essentiella fettsyrorerna linolsyra (10,5-22,8 %) och α -linolensyra (8,1-12,1 %) utgör en väsentlig andel i fettsyrasammansättningen. Rapsolja innehåller relativt låga halter mättade fettsyror, höga halter enkelomättade fettsyror och höga halter fleromättade fettsyror. Oljan innehåller även vissa mikronutrientier som tokoferoler (företrädesvis α - och γ -tokoferol), fytosteroler (främst β -sitosterol, campesterol och brassicasterol), karotenoider, polyfenoler och koenzym Q10/Q9. Dessutom finns klorofyll, mineraler (främst fosfor, kalcium och svavel) samt sedimentbildande komponenter (framförallt vax-estrar) i oljan.

Miljö- och genotypiska faktorer påverkar olje-, tokoferol-, fytosterol-, fenol-, glukosinolat-, svavel- och sedimenthalten samt fettsyrasammansättningen i rapsfröet. Oljehalten minskar vid låga vattenhalter särskilt under blomningsfasen. Temperaturen under mognad influerar fettsyraprofilen hos raps; linolensyra minskar vid stigande temperaturer. Fettsyraprofilen påverkas mer av klimatet än av sorten. Fettsyrasammansättningen påverkas av gödningsstillförsel. Kvävegivan bör anpassas för att inte försämra kvalitetsparametrar. Idag sker forskning kring förädlade sorter med skräddarsydd fettsyrasammansättning för specifika ändamål.

Betydelsen av rapsoljan och rapsodlingen är stor i ett internationellt- och nationellt perspektiv.

Nyckelord: Rapsolja, kemisk sammansättning, rapsodling, odlingsfaktorer.

Abstract

The literature study examined the chemical composition of rapeseed oil and cultivation factors affecting the composition of rapeseed and oil.

Rape (*Brassica napus*) in *Brassicaceae* is a diploid crossbreed between turnip (*Brassica oleracea*) and turnip rape (*Brassica rapa*). At vegetative stage leaves and taproot forms. Yield is set during flowering and flowers are self-fertilized and fertilized by pollinating insects. The chemical composition is formed at seed filling stage (40-45 % oil, 20 % protein, smaller amounts of phenolic compounds and glucosinolates).

Rapeseed cultivation is adjusted to local methods. Spring/winter varieties are grown in crop rotations every 4-6 year. In Sweden rape is grown by direct drilling/conventional practice and is harvested through direct threshing/threshing after swathing. Crop rotations including rape cause advantages (increased yield for subsequent crop, decreased pests- and pathogens). The rapeseed yield in Sweden is amongst the higher in the world.

In the beginning of oilseed cultivation, rapeseed was grown for industrial purposes. At the end of the 20th century the request of edible rapeseed oil was increased, cultivation was strongly extended. High amounts of erucic acid and glucosinolates in edible varieties led to worry about health effects in human, breeding provided a variety (canola) with lowered levels. Soya beans, oil palm and canola constitute the most important vegetable oils. The utilization range is wide with applications in the food business (e.g. cooking oil and ingredient) and in the industry (e.g. diesel-fuel and lubricant). Globally rapeseed oil is big merchandise.

Rapeseed oil consists of triacylglyceroles (92-99 %) and phospholipids (ca 3 %). The octadecanoic acids constitute 95 % of the total fatty acids, where oleic acid dominates (52-64 %). The essential linoleic acid (10,5-22,8 %) and α -linolenic acid (8,1-12,1 %) constitute a considerable portion in the fatty acid composition. Rapeseed oil contains relatively low levels of saturated-, high amounts of monounsaturated- and high levels of polyunsaturated fatty acids. The oil contains some micronutrients such as tocopherols (α - and γ -tocopherol), phytosterols (β -sitosterol, campesterol and brassicasterol), carotenoids, polyphenols and coenzyme Q10/Q9. In addition chlorophylls, minerals (phosphorus, calcium and sulphur) and sediment compounds (wax esters) are present.

Environment- and genotypic factors affect fatty acid composition, oil-, tocopherol-, phytosterol-, phenol-, glucosinolate-, sulphur- and sediment content in rapeseed. Oil content decreases at low water conditions particularly during flowering. Elevated temperature at ripening influences fatty acid profile in rape; linolenic acid decreases. The fatty acid profile is affected more by climate than by type. Fatty acid composition is affected by fertilization supply. Non-adjusted nitrogen rate can decrease oil quality. Today breeding-science is developing varieties with custom made fatty acid profiles for specific use.

Rapeseed oil and rapeseed cultivation is important both internationally and nationally.

Key words: Rapeseed oil, chemical composition, rapeseed cultivation, cultivation factors.

Innehåll

1.0	Introduktion.....	6
1.1	<i>Material och metod</i>	6
1.2	<i>Botanisk beskrivning av raps (Brassica napus)</i>	6
1.3	<i>Rapsodling i Sverige och i andra länder</i>	7
1.4	<i>Rapsoljans användning - då och nu</i>	9
2.0	Redogörelse för rapsoljans kemiska sammansättning.....	11
2.1	<i>Triacylglyceroler</i>	12
2.2	<i>Polära lipider</i>	13
2.3	<i>Ingående fettsyror och fettsyrasammansättning</i>	13
2.4	<i>Tokoferoler</i>	15
2.5	<i>Fytosteroler (växtsteroler)</i>	16
2.6	<i>Pigment</i>	17
2.7	<i>Mineraler</i>	18
2.8	<i>Sedimentsammansättning</i>	19
2.9	<i>Övriga komponenter</i>	19
3.0	Faktorer under odling som påverkar den kemiska sammansättningen av rapsfröet och rapsoljan.....	19
3.1	<i>Påverkan av sort- och miljöfaktorer</i>	19
3.2	<i>Påverkan av torka och vattentillgång</i>	20
3.3	<i>Temperaturens påverkan</i>	21
3.4	<i>Påverkan av näringstillgång och gödningsmetoder</i>	21
4.0	Diskussion och slutsats.....	22
5.0	Tack till.....	23
6.0	Referenser.....	23

1.0 Introduktion

Syftet med denna rapport är att sammanställa litteraturen i det givna ämnesområdet genom att olika aspekter kring rapsolja studeras. Uppsatsen redogör för rapsoljans kemiska sammansättning i avsnitt 2.0 till 2.9 och beskriver även faktorer under odlingen som påverkar den kemiska sammansättningen av rapsoljan i avsnitt 3.1 till 3.4. Nedan beskrivs litteraturstudiens material och metod i avsnitt 1.1 samt bakomliggande fakta om rapsolja och raps (*Brassica napus*) i avsnitt 1.2 till 1.4.

1.1 Material och metod

En tidsplan upprättades för kandidatuppsatsen, vilket fungerade som ett stöd under arbetets gång. Merparten av tiden under litteraturstudien ägnades åt att bearbeta och värdera den funna informationen, vilket skedde under vägledning från handledaren. Litteraturen värderades efter dess relevans och i uppsatsen finns både nypublicerad - och äldre litteratur.

Litteratursammanställningen genomfördes genom litteraturstudier i biblioteket på Ultuna, SLU och genom vetenskapliga databassökningar. Handledaren vid institutionen för livsmedelsvetenskap, livsmedelskemi bidrog även med litteratur inom ämnesområdet. Databaser som ”Web of Knowledge”, ”Scopus” och ”Science Direct” användes där olika anpassade sökningar applicerades. Sökord som ”rapeseed oil” och ”chemical composition of” användes för att hitta relevanta tidsskriftsartiklar. Vid Ultunas bibliotek användes sökmotorn ”LUKAS” för att lokalisera relevant litteratur. Via bibliotekets hemsida kunde regler för bl.a. referenshantering hittas, dessutom fanns det även tillgång till olika sökmotorer, uppslagsverk och ordböcker genom hemsidan.

1.2 Botanisk beskrivning av raps (*Brassica napus*)

Raps (*Brassica napus*) tillhör familjen *Brassicaceae* eller *Cruciferae* (korsblommiga), liksom bl.a. rybs (*Brassica rapa*) (Andersson *et al.*, 2001; Eskin *et al.*, 1996). Både raps och rybs odlas i Sverige som vår- och höstgrödor. Globalt odlas ytterligare *Brassica*-arter som svartsenap (*B. nigra*), sareptasenap (*B. juncea*) och etiopisk senap (*B. carinata*). (Andersson *et al.*, 2001)



Figur 1. Till vänster blommande höstrapsfält på södra Gotland, år 2010. Till höger samma fält vid fröfyllnadsfasen. Skördeområde 0911 enligt Funcke och Ländell (2010).

(Foto: Maria Smitterberg)

Korsning mellan kålrot (*B. oleracea*) från östra medelhavsområdet och rybs (*B. rapa*) gav upphov till *Brassica*-arten raps (*B. napus*). Denna korsning är diploid, då en kromosomfördubbling skett. (Andersson *et al.*, 2001; Eskin *et al.*, 1996)

Raps (*B. napus*) har en kraftig planta och kraftiga blad med blågrön färg. Bladen omsluter inte helt plantans stjälk. Rapsblommans knoppar är synligt placerade ovanför de gula blommorna. Skidorna är kraftiga. De mogna rapsfröna är mörkbruna till färgen, ofta med en svart skiftning. Rapsplantan etablerar en välutvecklad pålrot under tillväxtsäsongen. Figur 1 visar ett blommande höstrapsfält och samma fält under fröfyllnadsfasen. (Andersson *et al.*, 2001)

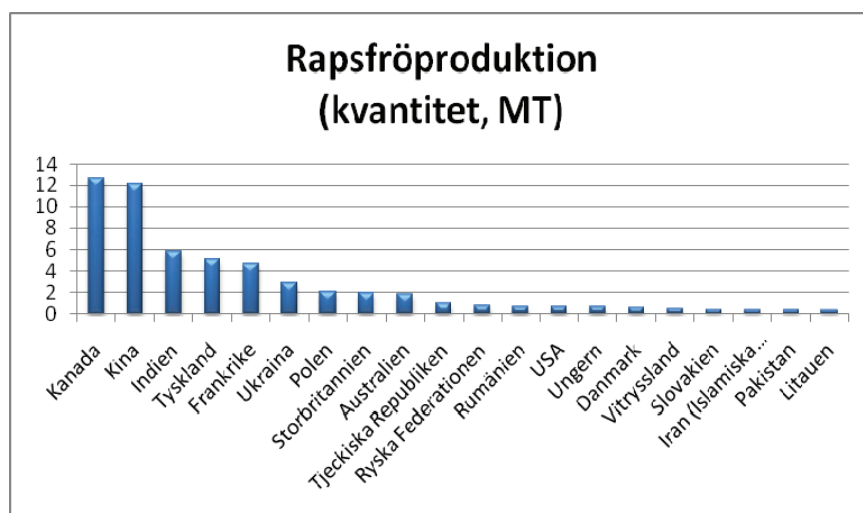
Rapsfrö kan ligga längre perioder i jorden och grov då förhållandena är de rätta. Den späda plantan utvecklas efter ca 4-5 dagar (Eskin *et al.*, 1996). Ett blad per dag bildas och då 6-10 blad bildats sträcker sig plantan (Eskin *et al.*, 1996). Då plantan etablerat sig växer pålroten och de sekundära rötterna. Rapsplantan har en god benägenhet att anpassa sig efter ett givet plantbestånd. Om antal plantor per ytenhet är lågt stimuleras den att bilda fler sidogrenar, på motsvarande vis inhiberas sidogrens bildning i ett tätt bestånd. I pålroten lagras näringsämnen som under våren används för bladbildning hos höstformerna. Bladanlagen avgör till stor del fotosyntesens förmåga och assimilationsytan. Bladanlagen bildas fram till blomanlagens initiering. Faktorer som påverkar blomanlagen och blomning är antalet bildade bladanlag, temperatur, vernalisering (höstraps) och dagslängden. Tillståndet vid blomning bestämmer avkastningspotentialen genom antalet bildade blomanlag. Vanligen sker självbefruktning, men med hjälp av vind och pollinerande insekter kan rapsblommorna även korsbefruktas. Upp till 20 % av blommorna kan korsbefruktas vid insektpollinering och avkastningen kan öka med ungefär 15 % om t ex bisamhällen finns i rapsodlingens närhet. Huvudskottens blommor vidareutvecklas till skidor i högre grad än sidogrenarnas blommor och ungefär hälften av samtliga blommor bidrar till skörden. Under 4-5 veckor efter avslutad blomning tillväxer skidorna som mest. Avkastningen bestäms dels genom miljöfaktorer som ljus, vatten- och näringstillgång, men också av genotyp och av sort. Temperaturen är en viktig faktor som bestämmer perioden för frötillväxt. Tillgång på näring, vatten och assimilatat avgör tillväxthastigheten hos rapsfröna. Under fröfyllnaden formas den kemiska sammansättningen i rapsfröet. (Andersson *et al.*, 2001)

1.3 Rapsodling i Sverige och i andra länder

Rapsodlingen anpassas till de lokala traditionella odlingsmetoderna och beror av temperatur, sort och klimat (Eskin *et al.*, 1996). Raps växer i områden med en nederbördsmängd överstigande 300 mm (Teshamariam *et al.*, 2010). På de flesta platser där grödan odlas räcker nederbörden för odling, men i t ex Australien och i de torra och kalla delarna av Montana (Kanada) används även bevattningssystem (Teshamariam *et al.*, 2010). Raps odlas med fördel på fuktighetshållande, väl-dränerade och jämna jordar där etableringen optimeras (Andersson *et al.*, 2001). De största rapsfröproducerande länderna visas i Figur 2.

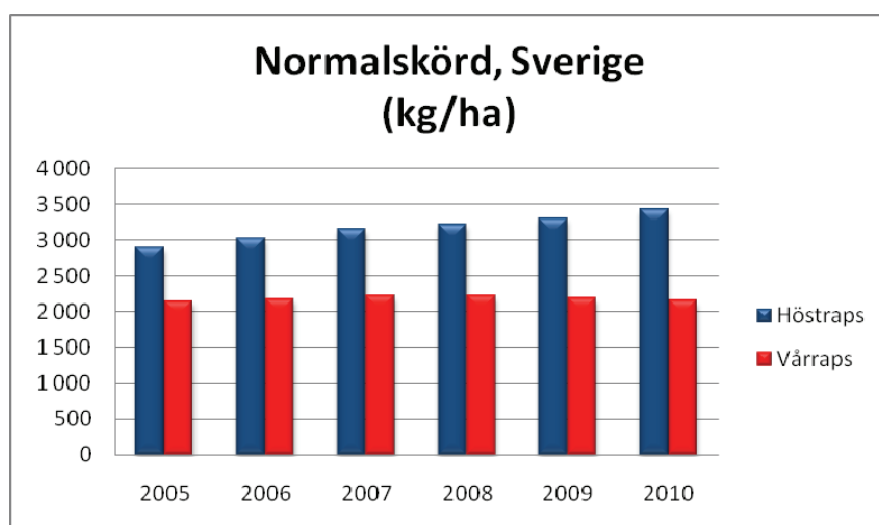
Vårapsorterna lämpar sig för områden belägna vid ökad altitud där faktorerna under vintern försvårar övervintringen för höstvarianterna (Andersson *et al.*, 2001). Vårsorterna har en kortare vegetationsperiod än höstvarianterna (Andersson *et al.*, 2001). Höstgrödorna måste genomgå en vernalisering för att träda in i den generativa fasen då blomanlag initieras och fröet ska bildas (Andersson *et al.*, 2001; Bengtsson *et al.*, 1972). Pålrotens utveckling och en lågt belägen tillväxtpunkt avgör övervintring och överlevnad hos höstformerna (Andersson *et al.*, 2001). Tidpunkter för sådd och skörd varierar för olika länder. I de länder som odlar höstraps sker sådden på hösten och övervintring under vintern. Plantan sträcker sig sedan på våren som följd av vernalisering då den reproduktiva fasen kan inledas. Raps odlas

traditionellt i rader i Kanada och i Europa. I den Indiska underkontinenten sprids fröna ut på fältet. I Kina planteras ofta rapsplantor efter risskörden. (Eskin *et al.*, 1996)



Figur 2. Världens 20 största rapsfröproducerande länder år 2008. Den angivna siffran för Iran är inofficiell enligt FAO. (FAO 2011 a)

Växtföljder som inkluderar raps ger positiva effekter då grödan bl.a. dämpar skadedjurstrycket (Teshamariam *et al.*, 2010). Rapsplantans pårot luckrar effektivt jorden och kan bidra till att minska spannmålsassocierade patogener. Odlingen kan kontrollera patogener som t ex *Fusarium*, *Sclerotinia* och *Alternaria* (Eskin *et al.*, 1996). Växtföljder som inkluderar raps kan bidra med en ökad avkastning (5-25 %) för efterföljande gröda, särskilt i annars spannmålsdominerande växtföljder. Oljeväxter bör dock inte odlas tätare än vart 4:e-6:e år pga. ökade risker för insekts- och svampangrepp. (Andersson *et al.*, 2001)

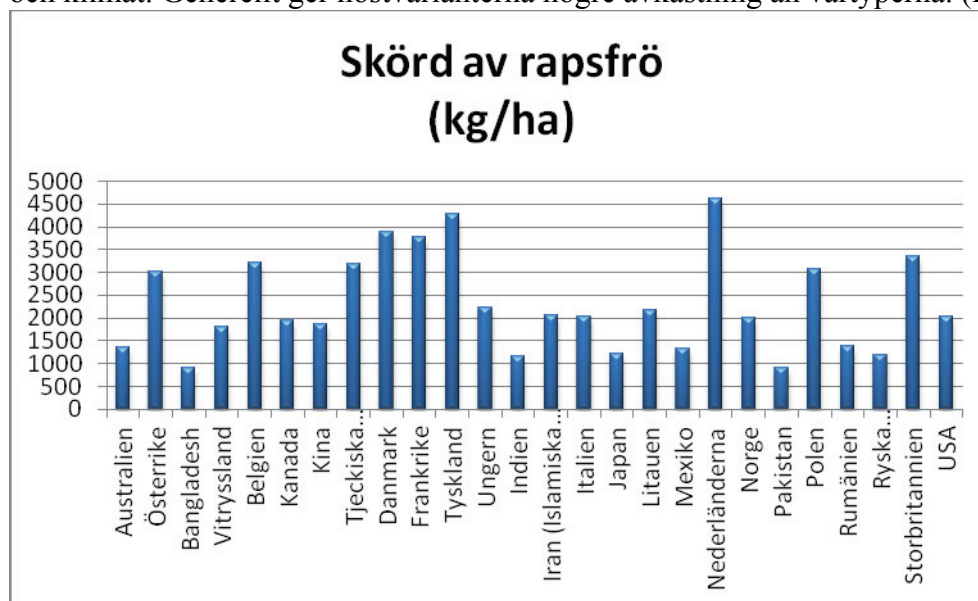


Figur 3. Normalskörd av höst- och vårraps i Sverige under åren 2005-2010. (Funcke och Ländell, 2010)

I Sverige odlas väsentligen inte höstraps norr om Östergötland och Södermanland. Rapsådd i Sverige utförs med direktsådd eller med konventionell såningsteknik. Höstrapsådd i Sverige sker i mellersta Svealand runt den 1-10 augusti och i södra Götaland runt den 10-20 augusti. Det är viktigt att så höstraps i tid för att grödan ska hinna etablera sig tillräckligt för att optimera möjligheterna för övervintring. Det är då möjligt att minska utsädesmängden, vilket är en ekonomisk fördel. Både försenad och för tidig höstsådd kan leda till försämrade övervintring. Vid försenad höstsådd hinner inte plantan lagra in tillräckligt med näring och vid för tidig höstsådd hinner tillväxtpunkten växa för mycket och blir därför mer utsatt för låga temperaturer. Tidigt sådda oljeväxter är även mer känsliga för rapsjordloppa än de senare sådda. Vårapsen behöver en jordtemperatur över 6 °C för att tillräcklig groningen av fröna ska ske. Vid vårsådd är jordtemperaturen en viktigare parameter än jordens fuktighet. Det finns

dock risk för att jordytan hinner torka ut under tiden då rätt jordtemperatur inväntas vid vårsådd och dessutom ökar risken för skadegörare som bl. a. rapsbaggen. En praktisk fördel för rapsodlaren är att höstraps mognar tidigt, vilket innebär en tidsmässig fördel. Två metoder vid skörd appliceras i Sverige, direkttröskning eller strängläggning före tröskning. Avkastningen och oljehalten minskar om grödan skördas för tidigt och drösningsförlusterna ökar om skörden försenas (Eskin *et al.*, 1996). Raps är moget då fröna är svarta och har en ungefärlig vattenhalt på 15 %. (Andersson *et al.*, 2001)

År 2010 var Sveriges normalskörd av höstraps 3423 kg/ha och av vårraps 2144 kg/ha (Figur 3) (Funcke och Ländell, 2010). Världens medelavkastning var år 1991-1992 1380 kg/ha och varierade från skördar mindre än 900 kg/ha i den Indiska subkontinenten till 3200 kg/ha i Tyskland. Kanadensiska skördar låg i snitt på 1350 kg/ha under samma period. Rapsfröskördar år 2009 i några av världens länder redovisas i Figur 4. Skördarna av canola/rapsfrö varierar i världen och beror av olika faktorer som genotyp, sort, odlingsmetod och klimat. Generellt ger höstvarianterna högre avkastning än vårtyperna. (Eskin *et al.*, 1996)



Figur 4. Skördar av rapsfrö i några av världens länder år 2009. Samtliga siffror är beräknade värden enligt FAO.(FAO 2011 b)

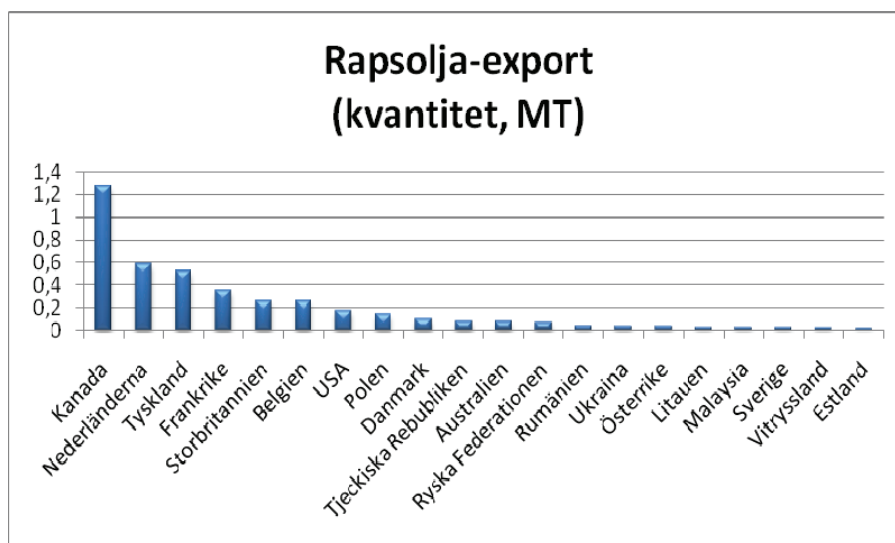
1.4 Rapsolja användning - då och nu

I början av den kommersiella oljeväxtodlingen i Europa under 1500-talet odlades raps (*B. napus*) och rybs (*B. rapa*) med syftet att producera olja för att driva lampor. Det var endast i Asien som *Brassica*-grödor odlades för att utvinna olja till humankonsumtion. I övriga delar av världen var användningen av rapsolja främst industriell. Från mitten av 1800-talet och fram till 1930-talet minskade den Europeiska produktionen, eftersom mineralolja istället användes i lampor och som smörjolja (Sakhno, 2010), samt pga. ekonomiska fördelar av import av andra oljor (Eskin *et al.*, 1996). Under 1960- och 1970-talet blev efterfrågan på vegetabiliska oljor större från konsumenternas sida som tidigare främst använt animaliska fetter. Efterfrågan på rapsolja, främst till humankonsumtion, ökade under slutet av 1900-talet (Andersson *et al.*, 2001). Under 1960-talet fram till år 1994 ökade världens rapsodling kraftigt. (Eskin *et al.*, 1996)

I Kanada genomfördes ett omfattande förädlingsarbete av de ätbara rapsarterna, eftersom de visade sig innehålla höga halter av erukasyra (22:1 *n-9*) och glukosinolater. Både erukasyra och glukosinolater visade sig orsaka negativa fysiologiska effekter i djurförsök och hos rapsmjölnutodrad boskap. Låg-erukasyra-varianter (LEAR, *low-erucic-acid rapeseed*) från Kanada korsades in i de Europeiska varianterna pga. oro för negativa hälsoeffekter. *Western*

Canadian Oilseed Cruscher's Association registrerade år 1978 "canola" som utgjordes av förädlade rapssorter med mindre än 5 % erukasyra i oljan och mindre än 3 mg/g glukosinolater i mjölet. År 1986, tog *The Canola Council of Canada* över canola och namnet ändrades till att omfatta varianter av *B. napus* och *B. rapa* med mindre än 2 % erukasyra i oljan och mindre än 30 µmol/g glukosinolater i rapsmjölet. Efter år 1996 förväntades innebörden av canola att ändras till att omfatta alla oljeväxtarter av *Brassica* med reducerade halter av erukasyra ned till 1 % i oljan och mindre än 20 µmol/g glukosinolater i mjölet. (Eskin *et al.*, 1996)

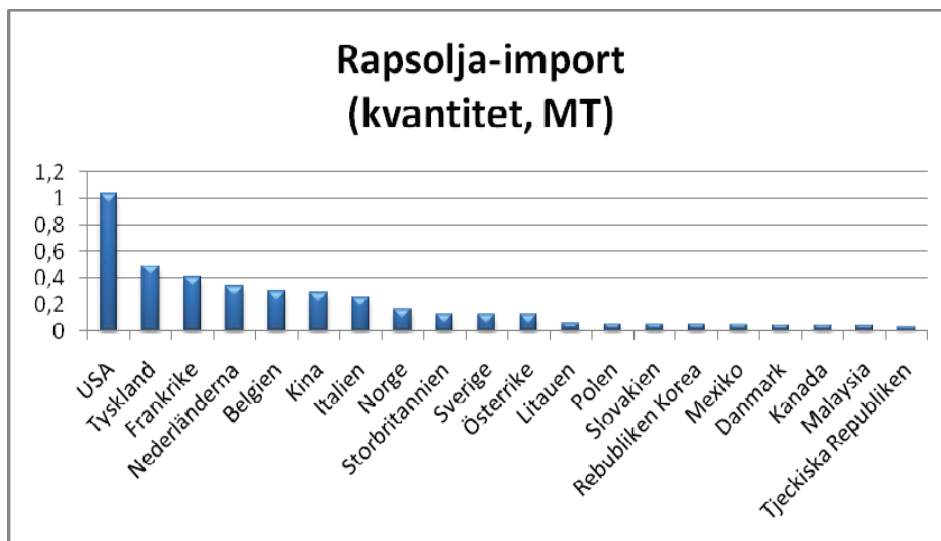
Rapsfröolja med kraftigt reducerad erukasyra- och glukosinolathalt (00 kvalitet) är ett hälsosamt val bland oljor (Szydłowska-Czerniak *et al.*, 2010). Idag finns flera vegetabiliska oljor där sojabönor, oljepalm och canola utgör de viktigaste (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010; Sakhno, 2010; Tesfamariam *et al.*, 2010). Rapsoljan, med sin neutrala smak, passar både i matlagning i hemmet och i livsmedelsindustrin (Jonsson *et al.*, 2007). Vegetabiliska oljor, exempelvis rapsolja, används även som råvaror i livsmedel och som ingredienser i matfetsblandningar som margarin (Gao *et al.*, 2010; Jonsson *et al.*, 2007). Oljan används i stor utsträckning för margarintillverkning i Europa, Indien, Kina, USA och i Kanada (Jonsson *et al.*, 2007). Rapsoljan används även som ren matolja, i t ex sallader (Gao *et al.*, 2010; Jonsson *et al.*, 2007; Eskin *et al.*, 1996). Rapsoljan används däremot inte till fritering pga. den relativt höga andelen fleromättade fettsyror och dess oxidationsbenägenhet vid höga temperaturer (Jonsson *et al.*, 2007). Partiellt hydrogenerad rapsolja kan dock användas till fritering och även som "shortenings" (Eskin *et al.*, 1996). "Shortenings" är fetter som används vid bakning och som förkortar eller mjukgör glutenstrukturen i bakverken (Coulate, 2009).



Figur 5. Världens 20 största rapsoljeexporterande länder år 2008. (FAO 2011 c)

Andra användningsområden av rapsolja är som smörjolja, motorbränsle (dieselbränsle), hydraulolja och till ytbehandling av plastpåsar. En möjlig framtida applikation är tillverkning av konstruktionsplast av vegetabiliska oljor. (Andersson *et al.*, 2001)

De största rapsoljeexporterande och rapsoljeimporterande länderna år 2008 enligt FAO 2011 c-d visas i Figur 5 och 6. Sverige var år 2008 den artonde största exportören och den tionde största importören av rapsolja i världen (FAO 2011 c-d) (Figur 5 och 6).



Figur 6. Världens 20 största rapsoljeimporterande länder år 2008. Den angivna importkvantiteten för Slovakien är enligt FAO inofficiell. (FAO 2011 d)

2.0 Redogörelse för rapsoljans kemiska sammansättning

Rapsfrö innehåller 38-45 % olja (Gao *et al.*, 2010; Marwede *et al.*, 2004; Eskin *et al.*, 1996). Rapsfrönas oljefraktion innehåller olika lipidklasser som beskrivs i avsnitt 2.1 till 2.9 nedan. I Tabell 1 sammanfattas de stora lipidklasserna i canola- och rapsolja. Nedan följer en kort beskrivning av de ingående komponenterna i rapsfröet.

Enligt Marwede *et al.* (2004) uppgår proteinhalten i rapsfrö till 19,5-20,5 %. Rapsmjölet innehåller 38-40 % protein med höga halter av essentiella svavelinnehållande aminosyror och aminosyrakompositionen är relativt stabil vid olika miljöförhållanden (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010).

Rapsfrö innehåller glukosinolater, en kväve- och svavelinnehållande antinutritionell komponent som överförs till rapsmjölet (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010). Glukosinolaterna i canolarapsfrö utgörs främst av progoitrin och glukonapin (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010). Den totala mängden glukosinolater kan variera mellan 5,03–43,8 $\mu\text{mol/g}$ i sorter med låga halter av glukosinolater (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010; Marwede *et al.*, 2004).

Fenoliska föreningar är växtens skyddande sekundära metaboliter och jämfört med andra oljevaxter innehåller rapsfrö de högsta halterna (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010). I en studie utförd av Szydłowska-Czerniak *et al.* (2010) varierade den totala fenolsyrahalten i rapsfrö mellan 20,3-40,7 mg/100 g. Den främsta fenolsyran var vidare sinapinsyra (17,4-36,4 mg/100 g), men andra fenolsyror som gallusyra, ferulasyra och *p*-kumarsyra fanns även i låga halter och kaffeinsyra (0,01-0,07 mg/100 g) var den kvantitativt sett minsta fenolsyran i rapsfrö (Szydłowska-Czerniak *et al.*, 2010).

Tabell 1. Sammanfattande tabell över sammansättningen av olika lipidklasser i raps- och canolaolja.

LIPIDKLASS	SPECIFICERING	RAPSOLJA
ICKE POLÄRA LIPIDER		
<i>Triacylglyceroler</i>	Glycerol och fettsyror	91,8-99,0 % ^a , 94,4-99,1% av totala lipider ^{*ac}
<i>Artonkolsfettsyror</i>	Karboxylgrupp och mättad/omättad kolvätekedja	95 % av de totala fettsyror ^{*a}
<i>Vax (sedimentkomponent)</i>	Långkedjiga alkoholer och fettsyror	78,1%* av tot. sedimentkomponenter vilka kan uppgå till 20-400 mg/kg olja ^{*a}
POLÄRA LIPIDER		
<i>Fosfolipider</i>	Glycerol/sfingosin, fettsyror, fosfat och alkohol	Upp till 2,5 % av canolaolja ^a
DERIVERADE LIPIDER		
<i>Tokoferoler</i>	Tokokromanol-ring	234 -1383 mg/kg ^{*bc}
<i>Fytosteroler</i>	Triterpener	0,53–0,97 % ^{**a}
<i>Klorofyll</i>	Porfyrinring och fytodel	5-35 ppm ^{*af}
<i>Karotenoider</i>	Tetraterpenoid	0,5-15,2 ppm ^{***d}
<i>Karotener</i>	Tetraterpenoid (kolväten)	95 ppm ^{*a}

* Canola

** Canola - och rapsolja

*** kallpressad rapsolja

^a (Eskin *et al.*, 1996)

^b (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010)

^c (Marwede *et al.*, 2004)

^d (Franke *et al.*, 2010)

^e (Kramer och Sauer, 1993)

^f (Teasdale och Mag, 1983)

2.1 Triacylglyceroler

En triacylglycerol (TAG) är uppbyggd av en glycerolmolekyl (trekolssocker-alkohol) och av tre fettsyror sammanbundna till glycerolmolekylen med varsin esterbindning (Horton *et al.*, 2006).

Av canolaoljans totala lipider utgörs 94,4-99,1% av triacylglyceroler, som därmed är den största beståndsdelen (Eskin *et al.*, 1996; Kramer och Sauer, 1993). Rapsfröoljans totala lipider består som jämförelse av 91,8-99,0 % triacylglyceroler (Eskin *et al.*, 1996).

Rapsolja (Eskin *et al.*, 1996), rapsolja med höga halter av erukasyra (Ackman, 1983) och TAG från *Cruciferae* (Sakhno, 2010) har mättade - och långa fettsyror främst bundna till position ett och tre i triacylglycerolmolekylen. Artonkolsfettsyror främst linolensyra och

linolsyra (Eskin *et al.*, 1996; Ackman, 1983), men också oljesyra (Sakhno, 2010), placeras vid position två på glycerolmolekylen.

Varianter med låg erukasyrahalt har dock andra fettsyrakonstellationer, där linolsyra främst placeras vid position ett eller tre. Linolensyra och linolsyra återfinns ofta vid samma platser på triacylglycerolen. Positionen av omättade - och fleromättade fettsyror på triacylglycerolen har betydelse för hydrogenering av oljan. Då omättade - och fleromättade fettsyror finns vid position ett och tre sker hydrogenering snabbare jämfört med vid position två och placeringen är därför en selektiv faktor under hydreringsprocessen. (Eskin *et al.*, 1996; Ackman, 1983)

2.2 Polära lipider

Fosforhalten deriveras från innehållet av gummi, polära- och icke polära lipider och omvandlas till fosfolipidhalten i oljan (Ackman, 1983). Fosfolipider finns i biologiska membran och består av en glycerol- eller sfingosinmolekyl, en eller flera fettsyror, en fosfatmolekyl och en alkohol. Glycerol- eller sfingosinmolekylen utgör basen dit de andra komponenterna binder, förutom alkoholen som binder till fosfatmolekylen. Fosfolipider där glycerol ingår kallas för fosfoglycerider, t ex fosfatidylkolin (FK), fosfatidyletanolamin (FE), fosfatidylserin (FS) och fosfatidylinositol (FI). (Berg *et al.*, 2007)

I flera rapsfrösorter samt i en höstvariant av LEAR (*low-erucic-acid rapeseed*) har man konstaterat att fosfolipider utgjorde den största andelen av de polära lipiderna. Fosfolipider utgjorde 3,6 % och glykolipiderna utgjorde 0,9 % av de totala polära lipiderna. I canolaolja utgör fosfolipider upp till 2,5 %. (Eskin *et al.*, 1996)

Under reningsprocessning av canolaolja förändras fosfolipidhalterna då fosfatidinsyra bildas till följd av nedbrytning av andra fosfolipider. Även mängden fosfor förändras från 529,0 ppm till 12,2 ppm i den degummerade oljan. Andelen av FK och FE minskar i den degummerade canolaoljan, medan andelen av FI, fosfatidinsyra och FS ökar. Fosfolipider kan associera med tungmetaller, vilket ökar oxidationsbenägenheten. (Eskin *et al.*, 1996)

2.3 Ingående fettsyror och fettsyrasammansättning

En fettsyra består av en karboxylgrupp och en kolvätekedja som identifierar varje fettsyra. De vanligaste förekommande fettsyrorna i vegetabiliska oljor och fetter för humankonsumtion är artonkolsfettsyrorna. De utgörs av den mättade stearinsyran (C18:0), den enkelomättade oljesyran (C18:1n-9), den fleromättade linolsyran (C18:2n-6) med två dubbelbindningar samt den fleromättade linolensyran (C18:3n-3) med tre dubbelbindningar. Dessa fettsyror utgör i canolaolja den största andelen med 95 % av de totala fettsyrorna. (Eskin *et al.*, 1996)

De fleromättade fettsyrorna linolsyra (C18:2n-6) och α -linolensyra (C18:3n-3) är båda essentiella fettsyror som finns i canolaolja (Kramer och Sauer, 1993). Förhållandet mellan linolsyra och linolensyra är cirka 2:1, men är högre för varianter med låg halt 18:3n-3-oljor (9:1) (Kramer och Sauer, 1993). De fleromättade fettsyrornas roll i växter och djur är främst att upprätthålla de biologiska membranernas fluiditet, struktur och funktion (Werteker *et al.*, 2010).

Linolensyra (C18:3n-3) anses skydda mot hjärt-kärlsjukdom eftersom fettsyran är delaktig i processer som motverkar blodproppsbildning (Szydłowska-Czerniak *et al.*, 2010). Fettsyrakompositionen hos oljan är fördelaktig och oljan är en god källa för omättade fettsyror, canolaolja anses därför leda till positiva effekter för konsumenternas hälsa (Szydłowska-Czerniak *et al.*, 2010). En fördelaktig effekt vid konsumtion av omgea-3

fettsyror är att halten av LDL-kolesterol (*low density lipoprotein cholesterol*) i blodet kan sänkas. Detta leder vidare till att risken för hjärt-kärlsjukdom minskar. (Werteker *et al.*, 2010)

Vidare har canola förädlats till sorter med reducerad linolensyrainhalt (2,1 %) och ökad linolensyrainhalt (ungefär 7 %). Dessa oljor visade bättre lagrings- och friteringsegenskaper. Linolensyra bidrar dock till bildning av smagivande komponenter i friteringsprodukterna varför låga halter av linolensyra är önskvärda även i friteringsolja. Även sorter med ökad oljesyrainhalt från 60 % till 85 % har tagits fram. Dessa sorter gav stabila friteringsolja med liknande egenskaper som hos olivolja. (Eskin *et al.*, 1996)

Tabell 2 visar rapsoljans fettsyrasammansättning och jämför den med andra vanliga vegetabiliska oljor. Rapsolja (canola) innehåller jämfört med andra vanliga vegetabiliska oljor relativt låga halter av mättade fettsyror (Kramer och Sauer, 1993; Ackman, 1983). Den största andelen av fettsyrorna i rapsolja är de enkelomättade fettsyrorna, där oljesyra är den dominerande fettsyran (Szydłowska-Czerniak *et al.*, 2010). Halten fleromättade fettsyror anses vara hög (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010).

Fettsyrornas *n-9* isomerer är de vanligaste förekommande formerna av C18:1, C20:1 och C22:1 i canolaolja från *B. napus* (Ackman, 1983). Rapsolja innehåller dock C16:1 oftare i *n-7* form än i *n-9* isomerform (Ackman, 1983). Canolaolja innehåller även en del andra fettsyror i låga koncentrationer. Dessa är oftast *n-7*-isomerer till *n-9*-fettsyrorna. Dessa *n-7*-fettsyror förekommer i koncentrationer på 0,01-0,1 %, dock förekommer C16:1*n-7* i en koncentration på 0,3 %. Vissa av föreningarna är en produkt av oxidation under raffinering av oljan. Under raffineringsprocessen kan även olika fettsyror formas som följd av isomerisering av *cis*-linolensyra (Eskin *et al.*, 1996; Ackman, 1983). Sådana *trans*-fettsyror återfinns i raffinerade oljor som efter processen innehåller linolensyra. I canolaolja finns även svavelinnehållande fettsyror (troligtvis i olika isomerer), vilka gör den unik bland de ätbara oljorna. (Eskin *et al.*, 1996)

Fettsyrasammansättningen hos tre olika fosfolipider (FK, FE, FI) i LEAR- och canolavarianter undersöktes och halterna av C18:1 följt av C18:2 och C16:0 dominerade generellt. För canolaolja uppmättes en högre halt linolensyra (C18:3) i fosfolipiderna jämfört med LEAR-varianten. En effekt av höga halter av omättade fettsyror i fosfolipiderna kan vara ökad oxidationsbenägenhet, vilket påverkar oljans kvalitet. (Eskin *et al.*, 1996)

Tabell 2. Fettsyrasammansättning i w/w% hos rapsolja och några andra vegetabiliska oljor.

Fettsyra	Rapsolja Canolaolja*	Rapsolja- HEAR**	Sojabönsolja	Majsolja	Solrosolja	Olivolja
C14:0	0,04-0,1 ^{abcg}	- ^a	0,1 ^a	- ^a	- ^a	-
C16:0	2,2-7,9 ^{abcecg}	4 ^a	10,8 ^a	11,4 ^a	6,2 ^a	-
C18:0	1,3-14,9 ^{abcecg}	1 ^a	4 ^a	1,9 ^a	4,7 ^a	-
C20:0	0,4-0,8 ^{abcg}	1 ^a	- ^a	- ^a	- ^a	-
C22:0	0,25-0,5 ^{abcg}	0,8 ^a	- ^a	- ^a	- ^a	-
Totalt mättade	6-21 ^{abdeg}	6,9 ^a	14,9 ^a	13,3 ^a	10,9 ^a	-
C16:1	0,2-0,3 ^{abcg}	0,3 ^a	0,2 ^a	0,1 ^a	0,2 ^a	-
C18:1	52-64 ^{abcefg}	15 ^a	23-23,8 ^{af}	25,3-29 ^{af}	16-20,4 ^{af}	75 ^f
C20:1	1,2-2,1 ^{abcecg}	10 ^a	0,2 ^a	- ^a	- ^a	-
C22:1	0,01-0,9 ^{abcecg}	45,1 ^a	- ^a	- ^a	- ^a	-
Totalt enkelomättade	58-68 ^{abdeg}	70,1 ^a	24,2 ^a	25,4 ^a	20,6 ^a	-
C18:2n-6	10,5-22,8 ^{abcefg}	14,1 ^a	53,3-54 ^{af}	57-60,7 ^{af}	68,8-71 ^{af}	9 ^f
C18:3n-3	8,1-12,1 ^{abcefg}	9,1 ^a	7,1-8 ^{af}	- ^a	- ^a	1 ^f
Totalt fleromättade	19,4-33,9 ^{abdeg}	23,2 ^a	60,4 ^a	60,7 ^a	68,8 ^a	-

* Canolaolja definierades år 1986 som *B. napus* och *B. rapa*-varianter innehållande mindre än 2 % erukasyra i oljan och mindre än 30 µmol/g glukosinolater i mjölet (Eskin *et al.*, 1996; Ackman, 1983). Efter år 1996 förväntades innebörden av canola att ändras till att omfatta alla oljeväxtarter av *Brassica* med reducerade halter av erukasyra ned till 1 % i oljan och mindre än 20 µmol/g glukosinolater i mjölet (Eskin *et al.*, 1996).

** *High-erucic-acid rapeseed*

^a (Eskin *et al.*, 1996)

^b (Ackman, 1983)

^c (Kramer och Sauer, 1993)

^d (Szydłowska-Czerniak *et al.*, 2010)

^e (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010)

^f (Sakhno, 2010)

^g (Gladine *et al.*, 2011)

2.4 Tokoferoler

Tokoferoler är naturligt förekommande antioxidanter i vegetabiliska oljor, i vilka de skyddar omättade fettsyror mot oxidationsprocesser (Marwede *et al.*, 2004; Eskin *et al.*, 1996). Ju högre halt av omättade fettsyror i växtens olja, desto större mängd tokoferol bildas. Endast växter kan bilda tokoferoler (Marwede *et al.*, 2004). Antioxidanterna kan fånga upp syreradikaler och dämpa den reaktiva *singlet oxygen*-molekylen (¹O₂) (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010; Coultate, 2009). Tokoferoler kan även dämpa fria radikaler (Marwede *et al.*, 2004). En annan trolig funktion är bl. a. medverkan vid upprätthållandet av membranernas integritet genom komplexbildning (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010). Tokoferoler förekommer i fyra olika former (isomerer): α, β, γ och δ (Marwede *et al.*, 2004). Dessa skiljer sig åt i molekylstruktur (gemensamt är dock en tokokromanol-ring) och de har även olika funktion (Marwede *et al.*, 2004). För människor utgör tokoferolerna ett viktigt näringsämne och är även kända som vitamin E (Marwede *et al.*, 2004). Den mest biologiskt aktiva formen av vitamin E är α-tokoferol medan γ-tokoferol har störst antioxidantaktivitet (Marwede *et al.*, 2004; Eskin *et al.*, 1996). Canolaolja innehåller företrädesvis α- och γ- tokoferoler. Av den totala tokoferolhalten i canolaolja återfinns vanligen 65 % γ- tokoferol, 35 % α- tokoferol, mindre än 1 % δ-tokoferol och en odetekterbar

mängd av β -tokoferol (Marwede *et al.*, 2004). I Tabell 3 jämförs canola- och LEAR-oljans tokoferolinnehåll och tokoferolkomposition med några andra vanliga vegetabiliska oljor. (Eskin *et al.*, 1996)

Den totala tokoferolhalten kan variera signifikant från 730,2 -1383 mg/kg canolaolja (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010). I en studie utförd av Marwede *et al.* (2004) rapporteras följande halter i canolaolja: α -tokoferol 78-97 mg/kg, γ -tokoferol 148-187 mg/kg och total tokoferolhalt 234-274 mg/kg. I standardrapsolja anges en total tokoferolhalt på 363 mg/kg olja (Gladine *et al.*, 2011).

Under raffinering av oljan förloras en del av tokoferolerna och det är främst vid deodoriseringen som förlusterna sker (Franke *et al.*, 2010; Eskin *et al.*, 1996; Ackman, 1983). Ibland tillsätts därför tokoferoler för att väga upp för förlusterna under deodoriseringen (Franke *et al.*, 2010). Eftersom tokoferoler genom sin närvaro bidrar med näringsmässiga värden och upprätthåller oljans stabilitet och kvalitet, är mängden av tokoferol i rapsfröet av värde och information om hur kvantiteten påverkas av intresse (Marwede *et al.*, 2004).

Tabell 3. Tokoferolsammansättning i canola- och LEAR-olja jämfört med några andra vegetabiliska oljor uttryckt i mg/kg (ppm).

Vegetabilisk olja	α -tokoferol	β -tokoferol	γ -tokoferol	δ -tokoferol	Total tokoferolhalt
LEAR*	192-260 ^b	- ^b	431-613 ^b	40 ^b	-
Canola	78 ^d -272 ^a	0,1 ^a	148 ^d - 423 ^a	- ^a	234-1383 ^{cd}
Sojaböna	55 ^b -90 ^{ab}	- ^{ab}	435 ^b -680 ^{ab}	149 ^b -230 ^{ab}	-
Solros	608 ^{ab}	17 ^{ab}	11 ^{ab}	- ^{ab}	-
Majs	134 ^{ab} -180 ^b	18 ^{ab}	412 ^{ab} -750 ^b	39 ^{ab}	-
Oliv	93-140 ^b	- ^b	7 ^b	- ^b	-

*Low-erucic-acid rapeseed

^a (Eskin *et al.*, 1996)

^b (Ackman, 1983)

^c (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010)

^d (Marwede *et al.*, 2004)

2.5 Fytosteroler (växtsteroler)

Fytosteroler (triterpener) medverkar i växtceller till att upprätthålla membranernas struktur (Gladine *et al.*, 2011). Canolaolja innehåller steroler i form av fria - och esterifierade steroler. Raps- och canolaoljans totala sterolinnehåll anges variera mellan 0,53–0,97 %. HEAR- och LEAR-varianternas totala sterolinnehåll anges variera mellan snarlika värden (Ackman, 1983). Gladine *et al.* (2011) anger att standardrapsolja innehåller 9120 mg/kg steroler. Den totala fytosterolkoncentrationen för canolaolja varierade mellan 4590-8070 mg/kg enligt Vlahakis och Hazebroek (2000). Den procentuellt sett största sterolen i canolaolja är β -sitosterol följt av campesterol och brassicasterol (Tabell 4 och Tabell 5) (Vlahakis och Hazebroek, 2000; Eskin *et al.*, 1996). Brassicasterol är som namnet antyder en typisk sterol hos *Brassica*-arter (Ackman, 1983). Jämfört med sojaböns- och solrosolja, detekterades endast brassicasterol i canolaolja enligt Vlahakis och Hazebroek (2000). Canolaolja innehåller nära dubbelt så mycket steroler som sojabönsolja, medan majsolja kan innehålla nästan tre gånger mer än canolaolja. Canolaolja innehåller nära dubbelt så mycket totala steroler jämfört med solrosoljans innehåll. (Eskin *et al.*, 1996)

Fytosteroler liknar människans kolesterol i den kemiska strukturen och påverkar därför kolesterolabsorptionen i människokroppen (Gladine *et al.*, 2011). Följden av detta kan vara minskad kolesterolemi (Gladine *et al.*, 2011). Det har visat sig att personer med svagt

förhöjda kolesterolnivåer signifikant kan sänka sina serumnivåer av kolesterol i blodet om de konsumerar fytosteroler (Vlahakis och Hazebroek, 2000).

Sterolhalten påverkas vid processning av olja och vid deodoriseringssteget avlägsnas dem effektivt. Raffinering påverkar de ingående sterolerna så att vissa produkter bildas och isomerisering av sterolerna sker. (Eskin *et al.*, 1996)

Tabell 4. Sterolsammansättning i canola- och LEAR-olja uttryckt i % av oljans totala sterolinnehåll.

Sterol	Canola ^a	LEAR ^b
β-Sitosterol	48,2	57,1
Campesterol	35,2	35,5
Brassicasterol	13,8	7,4
Δ⁵-Avenasterol	2,4	-
Stigmasterol	0,5	-
Kolesterol	0,1	-
Δ⁷-Avenasterol	-	-
Δ-Stigmasterol	-	-
Δ⁷-Campesterol	-	-
Approx. total mängd (mg/kg olja)	8920	-

^a (Eskin *et al.*, 1996)

^b (Ackman, 1983)

- Värdet anges ej av referens.

Tabell 5. Sterolsammansättning i canolaolja uttryckt i mg/kg.

Sterol	Canola
β-Sitosterol	2310-3920
Campesterol	1500-3080
Brassicasterol	530-1060
Stigmasterol	Ej detekterad
Approx. total sterolmängd	4590-8070

(Vlahakis och Hazebroek, 2000)

2.6 Pigment

Det gröna pigmentet klorofyll består av en porfyrinring och en fytoldel. Karotenoider är tetraterpenoider och delas in i karotener (kolväten) och xantofyller (syrenehållande strukturer), vilka ger röd eller orange färg. Klorofyll och karotenoider finns båda i kloroplasternas membran i växtens celler. Karotenoiderna finns även i kromoplaster i andra delar av växten. Karotenoider kan verka som antioxidanter och är förstadier till retinol (vitamin A). (Coultate, 2009)

Karotenoider och klorofyll finns i canolaolja. Canolaolja kan innehålla mellan 5-35 ppm klorofyller (Eskin *et al.*, 1996; Teasdale och Mag, 1983). Karotener i råoljan uppgår till 95 ppm. Karotenernas sammansättning är 10 % karotener och 90 % xantofyller. (Eskin *et al.*, 1996)

Enligt Franke *et al.* (2010) kan karotenoidhalten variera mellan 0,5 – 15,2 ppm i kallpressade rapsoljor. Jämfört med kallpressad solrosolja visade sig kallpressad rapsolja innehålla en högre halt totala karotenoider. Den kvantitativt sett största karotenoiden var (*all-E*)-lutein, som varierade mellan 5,7–14,9 ppm färskvikt för kallpressade rapsoljor från marknaden och från den lokala oljekvarnen. I vissa kallpressade rapsoljor kunde även mindre mängder av (*all-E*)-zeaxanthin (0,4 ppm färskvikt) och spår av (*all-E*)-β-karoten detekteras. Fördelningen av karotenoider i rapsfrö, oljan och i presskakan var jämn. Liknande mängder

av (*all-E*)-lutein och andra karotenoider kunde hittas i de olika delarna av rapsfröet. (Franke *et al.*, 2010)

Pigment (klorofyll-föreningar) i fröolja bör avlägsnas vid olika processer för att undvika kvalitetsförsämring av oljan genom ökad risk för ljusinducerad oxidation. Pigment kan ge en oönskad färg hos oljan och kan även påverka hydrogeneringskatalysatorer negativt. Klorofyllider och feoforbider är pigment utan fytoldelen, vilka kan ha en skadlig effekt och bör därför även avlägsnas från oljan. Pigment som klorofyll och andra färgkomponenter avlägsnas från oljan vid blekningsprocessen då halterna reduceras (Tabell 6). Under blekningsprocessen avlägsnas de flesta karotenoiderna (Franke *et al.*, 2010). Klorofyll bildar olika produkter (a- och b-isomerer) under processning. Generellt är b-isomererna svårare att avlägsna från oljan än a-isomererna. (Eskin *et al.*, 1996)

Tabell 6. Halter av klorofyll och dess derivat efter olika processsteg uttryckt i ppm.

Canolaolja	Klorofyll a-isomer	Feofytin a-isomer	Feofytin b-isomer	Pyrofeofytin a-isomer	Pyrofeofytin b-isomer
Expeller	6,3	4,5	1,8	5,4	0,7
Extraktion	1,9	3,3	1,3	16,6	3,1
Blekning	-	0,6	0,3	0,2	0,3

(Eskin *et al.*, 1996)

2.7 Mineraler

Mineraler och spårelement finns naturligt i rapsfrö, men kan också tillföras oljan via processning och hantering. Processning av rå canolaolja minskar dock halterna av giftiga och oönskade spårelement som t ex bly, svavel och järn (Tabell 7). Genom degumming och blekning reduceras halterna av järn, fosfor, svavel och kalcium. Fosfor och kalcium bildar salter som kan avlägsnas vid degumming. Halterna av svavel och bly reduceras ytterligare vid deodorisering, medan fosforhalten ökar något vid behandlingen. Selen och svavel anses kemiskt sett associeras med varandra (Ackman, 1983). Vid nedbrytning av glukosinolater frigörs svavel i organiska föreningar som kan påverka hydrogeneringskatalysatorn negativt och även oljans lukt. Samtidigt kan vissa svavelföreningar agera som antioxidanter och därmed skydda oljans oxidationsbenägna komponenter. Järn kan starta oxidering av de omättade fettsyrorerna i oljan. (Eskin *et al.*, 1996)

Högre halter av svavel i olja från HEAR- och LEAR-varianter kan förväntas pga. deras högre halter av glukosinolater jämfört med canolasorterna. Råolja från en LEAR-variant visade samma värden för zink och bly som rå canolaolja (Tabell 7). (Ackman, 1983)

Tabell 7. Mineralinnehåll i ppm vid olika processningssteg av canolaolja (med god kvalitet med avseende på kadmium- och kopparhalter).

Canola	Fosfor	Kalcium	Svavel	Järn	Zink	Bly	Selen*
Råolja	1190 ^a	296 ^a	6,5 ^a	3,5 ^a	2,4 ^a	0,24 ^a	7,9–11,7 ^b
Degumnerad olja (vatten)	222 ^a	169 ^a	1,2 ^a	1,3 ^a	2,1 ^a	- ^a	-
Blekt olja	Cirka 0,2 ^a	4,1-5,6 ^a	0,9 ^a	0,2-0,6 ^a	- ^a	- ^a	-
Deodoriserad olja	0,2-0,25 ^a	- ^a	0,25-0,4 ^a	- ^a	- ^a	0,07 ^a	-
Fullt raffinerad olja	-	-	-	-	-	-	1,0 ^{**b}

* Selenhalt angiven i ppb (ng/g).

** Selenhalten under detektionsnivå.

- Berörs ej av referens. Streck följt av referensanvisning innebär att värdet inte kunde mätas.

^a (Eskin *et al.*, 1996)

^b (Ackman, 1983)

2.8 Sedimentsammansättning

Sediment kan bildas vid lagring av oljan och består främst av vax och polära föreningar, men även av mindre mängder diglycerider, fria fettalkoholer och fria fettsyror (Tabell 8). Dessa kommer troligtvis från rapsfrönas skal. Sedimentkomponenternas mängd kan variera mellan 20-400 mg/kg olja. De polära föreningarna tros innehålla komponenter som liknar kolhydrater till sammansättningen. Lipidkomponenterna består främst av mättade fettsyror (C14-C32), där även små mängder fettsyror med ojämnt antal kolatomer och grenade fettsyror ingår. Vax-estarna innehåller mellan 42-62 kolatomer och liknar triacylglycerolerna med avseende på den kemiska sammansättningen, varför de associeras med oljan. De antar dock en kristallin struktur under eller vid rumstemperatur. Det har visat sig att även låga halter av vax-estrar kan ge upphov till fällningar. (Eskin *et al.*, 1996)

Tabell 8. Sedimentsammansättning hos canolaolja.

Beståndsdel	Andel av sediment (%)
Vax-estrar	78,1
Polära föreningar	17,2
Diglycerider	2,7
Fria fettalkoholer	2,0
Fria fettsyror	0,2
Triacylglyceroler	Spår av

(Eskin *et al.*, 1996)

2.9 Övriga komponenter

Oljefrö är generellt rika på mikronutrientier som fytosteroler och antioxidanter som polyfenoler, tokoferoler och koenzym Q10/Q9. Dessa mikronutrientier tros spela en stor roll för att minska risken för hjärt-kärlsjukdom. Gladine *et al.* (2011) anger en kvantitet av koenzym Q10/Q9 på 37 mg/kg i standardrapsolja. Under raffineringprocessen minskar dock halterna av mikronutrienterna. (Gladine *et al.*, 2011)

I kommersiella kallpressade råoljor kunde Harbaum-Piayada *et al.* (2010) detektera kvantiteter mellan 0,54–3,56 mg/kg sinapinsyra, från spår av till 20,4 mg/kg vinylsyringol och en total polyfenolhalt mellan 0,54-23,9 mg/kg i de olika oljeprovorna. I de raffinerade oljorna kunde inte sinapinsyra och vinylsyringol detekteras, den totala polyfenolhalten varierade där mellan 8,05–63,0 mg/kg för de olika oljeprovorna. (Harbaum-Piayada *et al.*, 2010)

3.0 Faktorer under odling som påverkar den kemiska sammansättningen av rapsfröet och rapsoljan

3.1 Påverkan av sort- och miljöfaktorer

Kvalitetsegenskaper som t ex. glukosinolat-, olje-, tokoferol- och fytosterolhalt samt fettsyrasammansättning, men även resistens mot sjukdomar har en genetisk koppling. Sammansättningen och mängden glukosinolater i *Brassica* påverkas av olika faktorer som plantans ålder, torra, temperatur och jordart men även av genetiska faktorer (El-Din Saad El-

Beltagi och Amin Mohamed, 2010). Svavelinnehållet visade ett starkt positivt samband med glukosinolat- och proteininnehållet. Troligen styrs protein- och svavelinnehållet av samma gener. Detta gäller även för glukosinolat- och svavelinnehållet, som antas styras av gemensamma gener. Oljehalten i rapsfrö varierar och påverkas av sort och klimat under odlingen (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010). Egenskaper som tidpunkt för start och varaktigheten av blomningen var signifikant korrelerade till oljehalten enligt Honsdorf *et al.* (2010). Vidare rapporterar de att varaktigheten av blomningen var korrelerad till proteinhalten. Skidans densitet visade en stark signifikant negativ korrelation till proteinhalten och ett mindre signifikant samband till oljehalten. Starka negativa korrelationer fanns mellan protein- och oljehalten samt mellan oljesyra och linolensyra. Fettsyrasammansättningen påverkas av varianten som odlas och av miljöfaktorer under odling (Szydłowska-Czerniak *et al.*, 2010). Fröets protein- och oljekomponenter antas konkurrera om substrat under fröfyllnaden, antagligen pga. att de delar loci som styr fördelningen av substrat i fröet. (Honsdorf *et al.*, 2010)

I en studie utförd av Marwede *et al.* (2004) noterades det att variansen för halterna av α - och γ - tokoferol samt totala tokoferoler påverkades av starkt signifikanta genotypiska varianser och av genotyp \times miljö-interaktioner, där effekterna av genotyp \times miljö-interaktioner var större än effekterna från den genotypiska variansen. Ärftligheten för tokoferolhalten var dock lägre än jämfört med ärftligheten för olje-, protein- och glukosinolathalten. Miljöbetingelser som temperatur och ljusexponering pekades ut som faktorer vilka påverkar tokoferolmängden. Resultat från studien föreslår att syntesen av α - och γ - tokoferol regleras oberoende av varandra. En signifikant korrelation mellan oljehalt och individuella och totala tokoferoler kunde inte konstateras i studien. Ökade eller förändrade halter av tokoferol förväntas inte påverka kvalitetsparametrar som t ex oljehalten. De starka genotyp \times miljö-interaktionerna försvårar för förädling av tokoferolhalten. (Marwede *et al.*, 2004)

Szydłowska-Czerniak *et al.* (2010) rapporterar att antioxidantmängden i rapsfröet varierade mellan de olika rapsproverna och berodde av varianten och av miljöfaktorer under odlingen. Vidare konstaterar de att mängden fenolsyra i de olika rapsfröproverna var beroende av sorten. Det är känt att mängden av individuella fenolsyror, totala halten av fenolsyra och totala fenolinnehållet varierar. Variationen anses bero av en samlad effekt av genetiska-, miljöbetingade-, agronomiska- och extraktionsfaktorer. (Szydłowska-Czerniak *et al.*, 2010)

Vid förädling av canolafrö kan gener som kodar för syntes av sedimentkomponenter oavsiktligt nedärvas tillsammans med andra önskade karaktärsdrag. Miljöfaktorer visade sig påverka produktionen av vax. Miljöförhållanden som stark ljusinstrålning, höga temperaturer och låg vattenhalt orsakade en ökad syntes av vax och liknande föreningar. (Eskin *et al.*, 1996)

3.2 Påverkan av torka och vattentillgång

Det är allmänt känt att fröavkastning och fröoljehalt hos canola, ökar med mängden vatten som plantan har tillgång till. Troligen finns ett samband mellan bladverkets storlek och varaktighet efter blomningen och avkastningen. Det är därför viktigt för avkastningen att rapsplantan har god tillgång till vatten och näringsämnen särskilt under blomningen och fröfyllnaden. (Teschfamariam *et al.*, 2010)

Teschfamariam *et al.* (2010) fann att torka under blomningen resulterade i lägre oljehalt och fröoljeavkastning jämfört med samma parametrar under optimala vattenförhållanden, liksom under torka vid fröfyllnaden samt under torka vid den vegetativa fasen. Detta är i samklang med att fröoljehalten minskar då jorden innehåller lite vatten, vilket är känt för fröoljeväxter generellt. Det visade sig att den mest avgörande faktorn för förbättring av fröoljehalten och

oljeavkastningen var att jorden innehåller tillräckligt med vatten under blomningsfasen. (Tesfamariam *et al.*, 2010)

3.3 Temperaturens påverkan

För oljeväxter verkar det troligt att både fettsyrasammansättningen hos membranens lipider och fröets lagrade lipider påverkas av temperaturen. Temperaturen är en viktig miljöbetingad faktor för fettsyraprofilen hos växter. Förändringar av fettsyraprofilen i växter antas kunna ske både under låga temperaturer och även som en effekt av höga temperaturer. Temperaturen verkar ha en starkare påverkan än t ex bevattning på fettsyraprofilen. (Werteker *et al.*, 2010)

Werteker *et al.* (2010) noterade att temperaturen under mognad influerade fettsyraprofilen hos raps, sojabönor och solros. För rapsfrö noterades en korrelation mellan minskande halter av linolensyra (C18:3) och stigande temperaturer under de sista 30 dagarna innan skörd. Raps verkade även vara känsligare för stigande temperatur jämfört med sojabönor. Sojabönor visade vidare en svagare korrelation mellan minskande halter av linolensyra och stigande temperaturer jämfört med raps. Detta antas kunna påverka anpassningsförmågan till kallare klimat, där raps generellt är tåligare än sojabönor. Solrosplantor som mognat under låga temperaturer visade ett omvänt samband för halten av enkelomättade fettsyror (oljesyra) och fleromättade fettsyror (linolsyra) i solrosolja (El-Din Saad El-Beltagi och Amin Mohamed, 2010). Werteker *et al.* (2010) kunde inte påvisa ett samband mellan oljehalt och temperatur för raps och sojabönor. Canolafröets oljehalt verkar dock kunna minska om temperaturen ökar under fröfyllnadsfasen (Gao *et al.*, 2010). Temperaturer över 30 °C under blomningen sänker även canolafröavkastningen (Gao *et al.*, 2010). I studien utförd av Werteker *et al.* (2010) visade det sig även att fettsyraprofilen hos raps påverkades mer av klimatet än av sorten. För sojabönor och solros hade sortvalet större betydelse, eller lika stor betydelse som de klimatbetingade faktorerna för fettsyraprofilen. (Werteker *et al.*, 2010)

För bl.a. fytosteroler önskas en stabil mängd vid odling under olika miljöbetingelser, vilket också gäller för andra karaktärsdrag. För sojabönsolja fann Vlahakis och Hazebroek (2000) att den totala fytosterolhalten var högre vid stigande temperaturer. Även fytosterolsammansättningen påverkades av stigande temperaturer, där proportionen av campesterol ökade men stigmasterol och β -sitosterol minskade. För sojabönsolja fann de även att tokoferolhalten minskade vid stigande temperaturer. De fann alltså en negativ korrelation mellan den totala fytosterol- och tokoferolhalten i sojabönsoljorna. Denna negativa korrelation kunde inte noteras då alla plantor odlades vid liknande temperaturer. (Vlahakis och Hazebroek, 2000)

3.4 Påverkan av näringstillgång och gödningsmetoder

För att öka avkastningen av canola används gödningsmedel, där kväve anses speciellt effektivt. Kvävegödning ger minskad oljehalt och istället ökad proteinhalt i canolafrö. I områden med svavelfattiga jordar ökar avkastningen om svavel tillsätts grödan. Svavel kan även öka effektiviteten av kväveanvändningen. Canolafröets olje- och proteinhalt ökar med svavelgödning. I en studie utförd av Gao *et al.* (2010) gav gödselapplikationer (flytande anaerob svin- och nötgödsel, med 84 och 168 kg N/ha tillgängligt) och syntetiska gödselmedel (urea 22,4 kg S/ha, med 84 och 168 kg N/ha tillgängligt) inte nödvändigtvis ökad canolafröavkastning. Gödningsapplikationer med kväve, och då särskilt konstgödselapplikationerna, minskade den totala oljehalten. (Gao *et al.*, 2010)

Tabell 9. Canolaoljans fettsyrasammansättning efter behandlingar med gödsel och konstgödsel med olika kvävehalter*.

Fettsyra	Koncentration (%)
Palmitinsyra, C16:0	4,3–4,9
Stearinsyra, C18:0	1,9–2,7
Oljesyra, C18:1	61,5–65,3
Linolsyra, C18:2	19,6–22,3
Linolensyra, C18:3	5,9–9,6
Arakinsyra, C20:0	0,6–0,7

*(Gao *et al.*, 2010)

I studien utförd av Gao *et al.* (2010) påverkades fettsyrasammansättningen av gödsel- och konstgödselapplikationerna (Tabell 9). Konstgödsel påverkade fettsyrasammansättningen mer än gödselapplikationerna. I denna studie visade konstgödselapplikationerna större benägenhet att minska oljesyrhalten jämfört med gödselapplikationerna. Palmitinsyra, stearinsyra och arakinsyra visade alla en kraftig påverkan efter näringsbehandlingarna. Konstgödsel verkade öka halterna av palmitinsyra och arakinsyra mer än gödselapplikationerna. Koncentrationen av palmitinsyra verkade öka med den högre halten av kväve hos främst konstgödselbehandlingen. Halten av arakinsyra ökade vid tillsats av gödsel. För en av testplatserna i studien ökade halterna av stearinsyra vid konstgödselapplikation, men minskade vid gödselapplikationen vid samma testplats. Konstgödselapplikationerna minskade linolensyra och oljesyra men ökade halterna av palmitinsyra, arakinsyra och linolsyra. Gödselapplikationerna visade en benägenhet att minska halterna av linolensyra eller oljesyra, men kunde även öka halterna av linolsyra. (Gao *et al.*, 2010)

En kvävegiva större än 84 kgN/ha visade inte några fördelar för oljans kvalitet som biodiesel eller oljeavkastning. Den högre kvävegivan (168 kgN/ha) gav upphov till negativa effekter på oljans kvalitet som biodiesel och den totala oljehalten. Kvävegivan bör därför anpassas för att inte minska kvalitetsparametrar hos canolaolja. (Gao *et al.*, 2010)

4.0 Diskussion och slutsats

Betydelsen av rapsoljan och rapsodlingen är stor både i ett internationellt- och nationellt perspektiv. Rapsoljans användningsområde är brett med både applikationer inom livsmedelsbranschen och inom övrig industri. Grödan anpassas till odlingens lokalisering och medför en rad fördelar då den ingår i växtföljder. Raps odlas med god avkastning i södra Sverige och är ett inhemskt svar på vegetabilisk olja, men är också en stor handelsvara globalt. Rapsolja innehåller en rad hälsosamma komponenter som kan främja konsumenternas hälsa och utgör därför ett viktigt alternativ bland oljor på marknaden.

Rapsfröets och rapsoljans kemiska sammansättning visar variationspotential och beror av sort- och miljöfaktorer under odlingen. Särskilt betydelsefulla miljöfaktorer är vattentillgång, temperatur och näringstillgång. Även raffineringsprocesser vid framställning av rapsolja påverkar de ingående kemiska komponenterna.

Olika faser i plantans tillväxtssäsong avgör och påverkar även vissa kvalitetsparametrar. Plantans känslighet för miljöfaktorer under de olika faserna varierar. Ett exempel är torka under blomningsfasen som reducerar avkastningen och oljehalten mest under odlingssäsongen. Torka under den vegetativa fasen verkar spela mindre roll för rapsplantans utveckling och avkastning.

Ofta samspelar genotyp och miljö. Miljöomständigheterna kan dock i liten omfattning styras under odlingen men odlingens lokalisering kan väljas ut.

Fettsyrasammansättningen påverkas av gödningsåtgärder, då främst halterna av mättade fettsyror och linolsyra ökar medan oljesyra samt linolensyra minskar. Detta har betydelse för rapsolja användning eftersom olika fettsyrasammansättningar önskas vid olika applikationer. Förlust av essentiella fettsyror är oönskat i rapsolja till humankonsumtion och minskade halter av oljesyra och ökade halter av mättade fettsyror är ogynnsamt i rapsolja till biodiesel. Påverkan av konstgödsel var starkare än påverkan av naturgödsel vilket bör tas i åtanke vid odling. Den höga kvävegivans påverkan på oljans kvalitet bör reflekteras kring vid planering av gödningsnivå, eftersom den reducerar oljehalten och tenderar att minska oljans kvalitet som biodiesel. Det är intressant att gödningsnivån inte konsekvent ökar avkastningen, utan att denna även påverkas av övriga nämnda parametrar.

Framtiden är ljus då omfattande forskning kring nya rapssorter sker. Vissa nya sorter har skräddarsydda fettsyraprofiler för specifika ändamål. De olika odlingsfaktorerna påverkar den kemiska sammansättningen av rapsolja, vilket uppmärksammas så att de näringsmässiga - och industriella värdena för människan utnyttjas effektivt.

5.0 Tack till

Tack till professor Paresh Dutta, institutionen för livsmedelsvetenskap, livsmedelskemi, SLU, Ultuna, Uppsala för god handledning och expertiskunskap i ämnet.

6.0 Referenser

- Ackman, R. G. (1983) Chemical Composition of Rapeseed Oil i: Kramer, J. K.G., Sauer, F. D., Pigden W. J., (Ed.) *High and Low Erucic Acid Rapeseed oils, Production, Usage, Chemistry, and Toxicological Evaluation*, s. 85-8, 90-1, 93-6, 106-7, 110-2, 115-7. USA: Academic Press.
- Andersson, K., Bodin, B., Börjesdotter, D., Dock Gustavsson, A.-M., Fogelfors, H. (Red.), Gustavsson, G., Hansson, M., Hellbe, I., Huss-Danell, K., Håkansson, S., Jansén, J., Jönsson, B., Ledin, S., Lundin Hagman, J., Mannerstedt Fogelfors, B., Ohlander, L., Jeppson-Paulsson, I., Svensson, B., Svensson, G., Tuveesson, M. (2001) *Växtproduktion i jordbruket*. Borås: Natur och Kultur/LTs förlag, s. 167-177, 179, 180-2.
- Bengtsson, L., Von Hofsten, A., Löf, B. (1972) Botany of Rapeseed i: Appelqvist, L.-Å. och Ohlson, R. (Ed.) *Rapeseed Cultivation, Composition, Processing and Utilization*, s. 36. Amsterdam: Elsevier Publishing Company.
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Stryer, L. *Biochemistry*. (2007) Upplaga 6, USA, New York: W.H. Freeman and Company, s. 329-330.

- Coultate, T., (2009) *Food The Chemistry of its Components*, Upplaga 5, Storbritannien, Cambridge: RSCPublishing, s. 117, 123, 132, 215-220, 339.
- El-Din Saad El-Beltagi, H. och Amin Mohamed, A. (2010) Variations in fatty acid composition, glucosinolate profile and some phytochemical contents in selected oil seed rape (*Brassica napus L.*) cultivars. *Grasas y Aceites* 61 (2), 143-150.
- Eskin, M. N.A., McDonald, B.E., Przybylski, R., Malcolmson, L.J., Scarth, R., Mag, T., Ward, K., Adolph, D. (1996) Canola Oil i: Hui, Y.H. (Ed.) *Bailey's Industrial Oil & Fat Products, Edible Oil & Fat Products: Oils and Oil Seeds*. Upplaga 5, volym 2, s. 1, 3-6, 9, 11, 35, 43-54, 56-7. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT. [online] (2011a)
Tillgänglig: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> [2011-04-13]
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT, [online] (2011b)
Tillgänglig: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
[2011-04-13]
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT, [online] (2011c)
Tillgänglig: <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx> [2011-04-13]
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT, [online] (2011d)
Tillgänglig: <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx> [2011-04-13]
- Franke, S., Fröhlich, K., Werner, S., Böhm, V., Schöne, F. (2010) Analysis of carotenoids and vitamin E in selected oilseeds, press cakes and oils. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 112, 1122-1129.
- Funcke O. och Ländell G. SCB och Jordbruksverket, *Sveriges officiella statistik statistiska meddelanden JO 15 SM 1001, Normskördar för skördeområden, län och riket 2010*. [online] (11 juni 2010)
Tillgänglig:
http://www.scb.se/Statistik/JO/JO0602/2010A01/JO0602_2010A01_SM_JO15SM1001.pdf
[2011-04-13]
- Gao, J., Thelen, K. D., Min, D.-H., Smith, S., Hao, X., Gehl, R. (2010) Effects of manure and fertilizer applications on canola oil content and fatty acid composition. *Agronomy Journal* 102, 790-797.
- Gladine, C., Meunier, N., Blot, A., Bruchet, L., Pagès, X., Gaud, M., Floter, E., Metin, Z., Rossignol, A., Cano, N., Chardigny, J.M. (2011) Preservation of micronutrients during rapeseed oil refining: A tool to optimize the health value of edible oils? Rationale and design of the Optim'Oils randomized clinical trial. *Contemporary Clinical Trials* 32, 233-239.

- Harbaum-Piayda, B., Oehlke, K., Sönnichsen, F. D., Zacchi, P., Eggers, R., Schwarz, K. (2010) New polyphenolic compounds in commercial deodistillate and rapeseed oils. *Food Chemistry* 123, 607-615.
- Horton, H. R., Moran, L. A., Scrimgeour, K. G., Perry, M. D., Rawn, J. D. (2006) *Principles of Biochemistry*. Upplaga 4. USA, New Jersey: Pearson Education, Inc. s. 258.
- Honsdorf, N., Becker, H. C., Ecke, W. (2010) Association mapping for phenological, morphological, and quality traits in canola quality winter rapeseed (*Brassica napus* L.). *Genome* 53, 899-907.
- Jonsson, L.(Red), Marklinder, I. (Red), Nydahl, M. (Red), Nylander, A. (Red), Lundmark, B., Holt, C., Kvarnbrink, E.-B., Reivell, G.-B., Hansson, I., Sjöholm, I. (2007) *Livsmedelvetenskap*. Upplaga 1:2, Lund: Författarna och Studentlitteratur, s. 164-166, 173-5, 177-8.
- Kramer, J. KG. och Sauer F. D. (1993) Canola oil as a source of fat in human nutrition. *Scandinavian Journal of Nutrition/Näringsforskning* 37, 55-57.
- Marwede, V., Schierholt, A., Möllers, C., Becker, H. C. (2004) Genotype×environment interactions and heritability of tocopherol contents in canola. *Crop Sci.* 44, 728-731.
- Sakhno, L.O. (2010) Variability in the fatty acid composition of rapeseed oil: Classical breeding and biotechnology. *Cytology and Genetics* 44, 389-397.
- Szydłowska-Czerniak, A., Trokowski, K., Karlovits, G., Szlyk, E. (2010) Determination of antioxidant capacity, phenolic acids, and fatty acid composition of rapeseed varieties. *J. Agric. Food Chem.* 58, 7502-7509.
- Teasdale, B. F. och Mag, T. K. (1983) The Commercial Processing of Low and High Erucic Acid Rapeseed Oils i: Kramer, J. K.G., Sauer, F. D., Pigden W. J. (Ed.) *High and Low Erucic Acid Rapeseed oils, Production, Usage, Chemistry, and Toxicological Evaluation*. s. 199. USA: Academic Press Canada.
- Tesfamariam, E. H., Annandale, J. G., Steyn, J. M. (2010) Water stress effects on winter canola growth and yield. *Agronomy Journal* 102, 658-666.
- Vlahakis, C. och Hazebroek, J. (2000) Phytosterol accumulation in canola, sunflower, and soyabean oils: Effects of genetics, planting location, and temperature. *JAACS* 77, 49-53.
- Werteker, M., Lorenz, A., Johannes, H., Berghofer, E., Findlay, C.S. (2010) Environmental and varietal influences on the fatty acid composition of rapeseed, soyabeans and sunflowers. *Austrian Agency for Health and Food Safety* 196, 20-27.

I denna serie publiceras större enskilda arbeten motsvarande 15-30 hp vid Institutionen för Livsmedelsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet.