

Stand und Aussichten der züchterischen Entwicklung von Raps (*Brassica napus* L.) mit einem maximalen Erucasäuregehalt im Öl

Wilfried LÜHS und Wolfgang FRIEDT

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig Universität Giessen,
Ludwigstrasse 23-D-35390 Giessen Germany

Abstract

Present State and Prospects of Breeding Rapeseed (*Brassica napus*) with a Maximum Erucic Acid Content in Seed Oil. - In the past decades world production of natural oils and fats has steadily increased and was about 83.5 million t in 1991/92. Rapeseed (*Brassica* spp.) is the third most important world source of vegetable oil (9.4 million t oil 1991/92) after soybean and palm. With about 80% the primary demand for oils and fats is used in food industry, while the remaining quantity serves as raw material for animal feed and chemical industry, i.e., 7% and 13% of world consumption, respectively. Both, in industry and in nutrition, specific fatty acid profiles determining the suitability of vegetable oils for special applications are needed. With regard to rapeseed, an opportunity exists to produce speciality oils for several niche markets besides the major food market supplied by 'double-low' quality. Especially, rapeseed oil with proportions of erucic acid (C22:1) substantially higher than the level found in traditional cultivars (40-50% C22:1) are still sought by breeders, biotechnologists and chemists for use in well-known industrial processes and products. Genetic studies revealed that erucic acid is under the control of the embryonic genotype. In *B. napus* the erucic acid synthesis is governed by two major gene loci acting largely in an additive manner. Multiple alleles occur at each locus and produce levels of C22:1 ranging from less than 0.1 to some 60%. In the winter forms of *B. napus* alleles are present which in single dose give about 15-18% C22:1.

In the course of our breeding program we have first screened available rapeseed and *Brassica* germplasm for high erucic acid content. Following conventional breeding procedures (e.g., pedigree selection) promising rapeseed genotypes were crossed and the progeny were selected due to genetic variation of oil content and quality. Since rapeseed is currently among the crop species most amenable to improvement through biotechnology, further breeding progress can be achieved by application of cell and tissue culture techniques, e.g., microspore culture for the production of doubled-haploid lines. Furthermore, an impressive strategy to increase genetic variation is the resynthesis of rapeseed, i.e., by crossing the original ancestors, *B. oleracea* and *B. rapa* syn. *campestris*, accomplished by embryo rescue technique circumventing existing incompatibility barriers. Following this way we have carried out crosses between a 'Yellow sarson' genotype from India (*B. rapa* ssp. *trilocularis*) and several selected cauliflowers

(*B. oleracea* convar. *botrytis* var. *botrytis*) in order to create new oilseed rape germplasm with high erucic acid content. The offspring display desirable variation in the content of major fatty acids, so that it is possible to produce breeding lines with an erucic acid content of 60% or even more. Further, we suggest to achieve recombinants with new allele combinations via introgression of resynthesized germplasm into conventional high-erucic acid breeding material. However, the possibility to increase the C22:1 synthesis by accumulation and combination of desirable alleles is obviously limited due to restrictions in triacylglycerol synthesis. Since cruciferous seed oils seem to contain erucic acid almost exclusively in the *sn*-1 and *sn*-3 positions of the glycerol backbone, a maximum of approx. 60-63% erucic acid is currently achievable.

Problemstellung

Erucasäure (cis-13-Docosensäure; C22:1) wird bereits seit längerem im oleochemischen Bereich für vielfältige Verwendungsmöglichkeiten eingesetzt. Die Nachfrage nach erucasäurereichem Pflanzenöl kann mit inländischer Produktion nur durch den Anbau von Winterraps (*Brassica napus* L.) in rentabler Weise gedeckt werden. Hinsichtlich der von der oleochemischen Industrie geforderten Rohstoffqualität stellt Rapsöl mit einem stabilen C22:1-Anteil von 60% bei möglichst reduziertem Linolensäureanteil zunächst bereits einen deutlichen Fortschritt dar. Dieses primäre Ziel ist durch konventionelle Züchtungsmethoden unterstützt durch moderne Biotechniken realisierbar. Speziell im letztgenannten Fall ermöglichen geeignete *in vitro*-Kulturtechniken wie die *in ovulum*-Embryokultur interspezifische Kreuzungen, die zur Erweiterung des genetischen Ausgangsmaterials beitragen können. Mit Hilfe der Kultur isolierter Mikrosporen ("Haploid-Methode") können unmittelbar homozygote Linien erzeugt und damit Zuchtprogramme insgesamt wesentlich beschleunigt werden (vgl. KONTOWSKI *et al.*, 1993; THIERFELDER *et al.*, 1993a; LÜHS und FRIEDT, 1994).

Anforderungen an die Züchtung von erucasäurereichem Raps

Erucasäure aus Rapsöl als oleochemischer Rohstoff

Fette und Öle sind wichtige Rohstoffe für den Ernährungssektor und auch für die oleochemische Industrie. Die Weltproduktion an nativen Ölen und Fetten betrug 1991/92 etwa 83,5 Mio. t (ISTA, 1992). Bisher werden etwa 80% der Weltproduktion für Nahrungs- und Speisezwecke verwendet, der verbleibende Anteil dient als Futtermittel (ca. 7%) oder Rohstoff für chemisch-technische Verwendungen (ca. 13% bzw. 10,5 Mio. t in 1990/91). Die oleochemische Industrie wünscht sich Pflanzenöle mit einer "maßgeschneiderten" Fettsäure-Zusammensetzung, d.h. einem möglichst hohen Anteil an speziellen, für sie wertvollen Fettsäuren. Die Verwen-

dung möglichst reiner Rohstoffe kann dazu führen, daß mit den preiswürdigeren Rohstoffen auch neue - heute prinzipiell bereits mögliche, aber ökonomisch noch nicht tragfähige - Anwendungsmöglichkeiten (z.B. für Erucasäure) realisierbar werden (vgl. EIERDANZ, 1993; LÜHS und FRIEDT, 1993a, 1993b).

Die Erucasäure (cis-13-Docosensäure; Kurzschreibweise: C22:1) ist eine langkettige Monoen-fettsäure, die bereits seit längerem im oleochemisch-technischen Bereich vielfältig eingesetzt wird (NIESCHLAG und WOLFF, 1971; ERICKSON und BASSIN, 1990; LEONARD, 1993; LÜHS und FRIEDT, 1993b). Beispielsweise dienen Amide der Erucasäure bei der Folienherstellung als Gleit- und Antiblockiermittel. Erucasäurederivate finden aufgrund besonderer physikalischer Eigenschaften als Schmierstoffadditive - vor allem für Hochleistungsmotoren - Verwendung. Weitere Erucasäureprodukte werden in der Erdölförderung zur Verhinderung unerwünschter Kristallisationserscheinungen und als Flotationsmittel bei der Erzaufbereitung genutzt. Eine Zusammenstellung von SONNTAG (1991) enthält über 200 allein in den Jahren 1987 bis 1990 weltweit patentierte Anwendungen von Erucasäure und Behensäure (C22:0, Hydrierungsprodukt der Erucasäure) und ihrer Derivate in den verschiedensten industriellen Einsatzbereichen, wie z.B.:

- Wasch- und Reinigungsmittel, Emulgatoren, Netzmittel;
- Weichmacher, Gleitmittel und Additive für die Kunststoffindustrie;
- Photographie-, Film- und Tonband-Materialien;
- Kosmetika, Pharmazeutika, Additive für die Nahrungsmitteltechnik;
- Hilfsstoffe in der Papier- und Druckindustrie;
- Hilfsstoffe in der Textil-, Leder- und Faserindustrie;
- Schmiermittel sowie Motoröl- und Treibstoffadditive;
- sowie "Coatings", Antischaum-, Haft- und Formulierungsmittel.

Diese Vielzahl von Produkten auf Erucasäurebasis beruht fast ausschließlich auf Umsetzungen an der Carboxylgruppe der langkettigen Fettsäuren bzw. ihrer Derivate (z.B. Fettalkohole). Derzeit weitgehend unberücksichtigt, aber durchaus entwicklungsfähig sind Reaktionen an der ungesättigten Alkylkette der Erucasäure - wie Dimerisierung, oxidative Spaltung, Epoxylierung, Carboxylierung und Olefin-Metathese (WARWEL *et al.*, 1993; vgl. LÜHS und FRIEDT, 1993b). So entstehen durch oxidative Spaltung an der Doppelbindung der Erucasäure Pelargonsäure und Brassylsäure, deren Derivate als Hilfsmittel in der Kunststoffindustrie eingesetzt werden. Pelargonsäure wird nach Veresterung mit dem Alkohol Pentaerythrit für hochwertige Schmierstoffe, sogenannte Esteröle, in der Flugzeugtechnik eingesetzt. Darüber hinaus wurde aus Brassylsäure und dem entsprechenden Diamin ein neues Polyamid Nylon-13,13 hergestellt. Dieser Kunststoff ist aufgrund seiner günstigen Werkstoffeigenschaften (u.a. geringe Wasserabsorption) bestens geeignet für Getriebezahnräder, Kabelisolierungen und andere Industrieprodukte. In Abhängigkeit von der Akzeptanz dieses Polyamids als technischer

Werkstoff könnten sich hieraus zukünftig neue Absatzmöglichkeiten von C22:1-reichen Pflanzenölen ergeben (SONNTAG, 1991; LÜHS und FRIEDT, 1993b).

Der jährliche Bedarf an erucasäurehaltigem Pflanzenöl in der EG wird derzeit auf ca. 30.000 t, in Deutschland auf ca. 12.000 t, geschätzt. Die Nachfrage wurde bislang vornehmlich durch Importe aus Osteuropa, China und Indien gedeckt. Die Erschließung weiterer interessanter Einsatz- und Anwendungsgebiete für Erucasäure in der chemischen Industrie ist nur auf der Basis eines gesicherten Rohstoffangebots tragfähig, so daß einer inländischen Produktion kurz- bis mittelfristig gute Chancen eingeräumt werden (vgl. FAL, 1992; WARWEL, 1993). Die klassische Verwendung von Rüböl im chemisch-technischen Bereich bis in die 70er Jahre beruhte ja bereits auf dessen hohem Erucasäuregehalt. Aufgrund von züchterischen Erfolgen und der daraus resultierenden, breiten Verwendung von Rapsöl im Nahrungsmittelsektor nimmt der Raps heute im europäischen Ölpflanzenanbau eine dominierende Stellung ein. Wegen der weitgehenden Sättigung des Fettverbrauchs zu Nahrungszwecken sind jedoch auch für Rapsöl zunehmend Absatzalternativen gefragt (vgl. THIERFELDER *et al.*, 1993b).

Genetische Grundlagen und Stand der Züchtung erucasäurehaltiger Rapssorten.

Die Erucasäure ist als eine charakteristische Fettsäure im Samenöl der *Brassicaceae* (Kruziferen) bekannt. Nach Angaben in der älteren Literatur kommt sie in dieser Familie in etwa drei Viertel aller Arten vor, allerdings in sehr variablen Anteilen bis zu maximal 65% im Gesamtfettsäuremuster (CALHOUN *et al.*, 1975; APPELQVIST, 1976). Dies wird in jüngster Zeit durch umfangreiches Screening im verfügbaren *Brassica*-Sortiment bestätigt (vgl. Tab. 2; MAHLER und AULD, 1988). Diese Obergrenze kommt dadurch zustande, daß in Kruziferen-Ölen aufgrund der Spezifität der *sn*-2-Acyltransferase offenbar kein Trierucin (Triglycerid mit drei C22:1-Resten) gebildet wird, d.h. Erucasäure wird bevorzugt in die beiden äußeren, aber nicht in die mittlere Position des Triglycerids eingebaut (vgl. TÖREGÅRD und PODLAHA, 1974; BERNERTH und FRENTZEN, 1990; MUUSE *et al.*, 1993).

Die Erucasäure kommt ausschließlich im Samenöl der reifen Kruziferen-Samen als Speicher-substanz vor. Der Erucasäuregehalt wird vom Genotyp des Embryos bestimmt. Beim amphidiploiden Raps (*Brassica napus*) hängt der Erucasäuregehalt von wenigstens zwei, beim diploiden Rübsen (*B. rapa* syn. *campestris*) jedoch lediglich von einem Gen mit additiv wirkenden Allelen ab. Für jeden der beiden Genloci liegt eine Serie multipler Allele vor, die Erucasäureanteile von 0,1 bis über 60% im Gesamt-Fettsäuremuster bedingen können. Unter der Annahme, daß beim Raps (*B. napus*) die Erucasäuresynthese primär von zwei Hauptgenen kontrolliert wird, sind in Abhängigkeit vom Homozygotiegrad bis zu vier wirksame Allele für den Erucasäuregehalt eines Rapsgenotyps verantwortlich. Beim Winterraps konnte gezeigt werden, daß einzelne Allele einen C22:1-Anteil von maximal 15-18% bewirken, so daß sich aufgrund additiver Effekte im Falle von vier Allelen ein Erucasäuregehalt von höchstens ca. 62% ergibt (vgl. JÖNSSON, 1977).

Alte Rapssorten, wie sie bis Mitte der 70er Jahre in Deutschland angebaut wurden, enthalten max. 40-50% C22:1 - so auch die heute wieder zugelassene, alte Winterrapssorte 'Sollux' (vgl. FAL, 1992). Nachdem Mitte der 80er Jahre die züchterische Bearbeitung von erucasäurehaltigem Rapsmaterial wieder aufgenommen wurde, steht nunmehr die neuzugelassene C22:1-haltige, glucosinolathaltige Winterrapssorte 'Askari' zur Verfügung. Ihr C22:1-Gehalt erreicht 50% (FRAUEN und SAUERMAN, 1991) und entspricht diesbezüglich dem kanadischen Sommerraps 'Hero' (SCARTH *et al.* 1991), sowie den in den USA bisher zugelassenen Winterraps-Sorten 'Indore' und 'Bridger' (ERICKSON und BASSIN, 1990).

Konventionell-züchterische und biotechnologische Ansätze

In einem konventionell-züchterischen Ansatz wurden nach Kreuzung geeigneter Rapsgenotypen und mehreren Selbstungs-Selektionszyklen Inzuchtlinien (I-Linien) sowie androgenetische Doppelhaploiden-Nachkommenschaften ausgelesen, um den Ölertrag zu steigern und dabei gleichzeitig den C22:1-Anteil im Öl wesentlich zu erhöhen. Bereits nach Selbstung der F_1 zeigte die Aufspaltung (F_2), daß das Zuchtmaterial im Mittel einen C22:1-Anteil von etwa 55% bei einem Fettgehalt von 45% aufweist. Aus der besten Kreuzungskombination 'Marcus' x 'Bridger' wurden in 1992 die in Tabelle 1 genannten $F_4(I_3)$ -Linien hinsichtlich ihrer Qualitäts- und Leistungseigenschaften selektiert.

Tab. 1. Qualitäts- und Leistungseigenschaften von $F_3(I_2)$ -Linien und ihren Nachkommenschaften

Linie Nr.	— $F_3(I_2)$ (1991) —			— $F_4(I_3)$ (1992) —		
	Öl %	C22:1 %	Ertr.#	Öl %	C22:1 %	Ertr.
66- 4/90	42,3	57,6	94	42,0	59,6	107
68- 5/90	45,7	58,4	88	44,9	60,4	99
68- 8/90	39,0	58,6	96	43,4	60,3	107
77- 6/90	43,5	57,3	106	42,5	59,4	113
84-10/90	48,3	57,5	90	42,2	61,1	94
'Askari'##	44,1	53,4	100	44,4	54,6	100

= relativer Samenertrag, 100 = 39,4 (1991) bzw. 25,8 dt/ha (1992); sämtl. Angaben bezogen auf 91% Trockensubstanz; ## = Vergleichssorte

Parallel zu den I-Linien wurden aus dem gleichen F_1 -Ausgangsmaterial etwa 300 androgenetische doppelhaploide Linien (DH-Linien) erstellt, von denen eine Auswahl bereits im Feld auf Leistungs- und Qualitätseigenschaften geprüft wurde (KONTOWSKI *et al.*, 1993).

Wesentliche Voraussetzung für den erzielbaren Selektionsgewinn ist eine hinreichende geneti-

sche Variation im Ausgangsmaterial. Unser intensives Screening unter vorhandenen Raps- und *Brassica*-Herkünften ergab, daß die genetische Variabilität des untersuchten Rapsmaterials im Hinblick auf hohen Erucasäuregehalt begrenzt ist. Aber unter den beiden direkten Stammformen des Rapses, *B. rapa* ("Rübsen") und *B. oleracea* ("Kohl"), fanden sich Genotypen mit C22:1-Anteilen im Samenöl von bis über 60% (Tab. 2). Diese können im Rahmen einer "Raps-Resynthese", d.h. einer gezielten Kreuzung von Rübsen und Kohl, systematisch genutzt werden.

Tab. 2. *Brassica*-Herkünfte mit hohem Erucasäureanteil im Samenöl

Art	Sorte/Herkunft	Lfd.Nr.	C22:1*
<i>B. oleracea</i> conv. <i>botrytis</i> var. <i>botrytis</i> (Blumenkohl)	'Stupicky Obrovsky'	K 2256/79	55,4
		K 2256/90G	58,5
	'Otecestvennaja'	K 2287/82	58,0
		K 2287/90G	57,1
	'Super Regama'	K 3094/74	57,3
	'Schneekuppe'	K 3096/74	58,3
	'Lecerf'	ST G319/91	60,0
	'Danova'	ST 40.898/91	61,4
	'Neckarperle'	ST G323/91	60,7
	'Alpha Selektion'	ZS DM304/91	59,8
	'Alpha mittelspät'	ST 2015/91	61,4
	'Alpha L'	ST 15/91	<u>63,4</u>
<i>B. rapa</i> ssp. <i>trilocularis</i> (Yellow Sarson)	Indische Herkunft	YSPb-24/89	54,8
		YSPb-24/90G	56,7
		YSC-54/91	<u>57,2</u>
		YSC-76/91	56,3
<i>B. rapa</i> ssp. <i>pekinensis</i> (Chinakohl)	'Granat'	ST G454/91	56,8
	'Chorus F ₁ Hybride'	ST 41.661/91	<u>56,5</u>

* in % Gesamtfettsäuren

Die experimentelle Erzeugung von neuen Rapsformen wird seit langem als eine besonders wichtige Methode dafür angesehen, die Variabilität des Rapses hinsichtlich bestimmter Zuchtziele zu erweitern (vgl. KRÄLING, 1987; CHEN und HENEEN, 1989). In jüngster Zeit hat die Resynthese von Raps mit dem Ziel der Schaffung neuer Resistenzquellen gegenüber Schad-erregern (DIEDERICHSEN und SACRISTAN, 1991; MITHEN und MAGRATH, 1992; MAGRATH *et al.*, 1993) sowie der Erzeugung von verbesserten Qualitätseigenschaften - wie z.B. Gelbsamigkeit (CHEN *et al.*, 1988; CHEN und HENEEN, 1992) - wieder zunehmend an Bedeutung gewonnen.

Aufgrund der guten Ergebnisse von DIEDERICHSEN und SACRISTAN (1991) sowie PLÜMPER (1991) erschien uns die *in ovulum*-Embryokultur für unser Vorhaben am besten geeignet. Nach Etablierung einer entsprechenden Methode gelang es uns, eine beträchtliche Anzahl von "Resynthese"-Rapsformen zu erzeugen, die vor allem auf die interspezifische Kreuzung von verschiedenen Blumenkohl-Genotypen mit der indischen Ölrübsenform 'Yellow Sarson' zurückgehen (Tab. 3). Die Ergebnisse zeigen, daß die Wahl der Kreuzungsrichtung für den Erfolg von maßgeblicher Bedeutung ist. Die im vorliegenden Fall höhere Ausbeute an Hybriden in der Kreuzungsrichtung 'Yellow Sarson' x Blumenkohl ist allerdings nicht allein auf eine effizientere *in ovulum*-Embryokultur, sondern auch auf einen wesentlich besseren Kreuzungsansatz zurückzuführen.

Tab. 3. Herstellung neuer "Resynthese"-Rapse mit erucasäurereichen *B. rapa* und *B. oleracea*-Eltern mit Hilfe einer *in ovulum*-Embryokultur

Anzahl Kreuzungen	Anzahl kult. Ovuli	Anzahl Bastarde	Artbastarde/ Kreuzungen (%)
<i>B. oleracea</i> (Blumenkohl) x <i>B. rapa</i> ('Yellow Sarson')			
3.655	4.444	95	2,6

<i>B. rapa</i> ('Yellow Sarson') x <i>B. oleracea</i> (Blumenkohl)			
514	4.469	396	77,0

Die Qualitätseigenschaften von analysierten "Resyn-Rapsen" zeigen (Tab. 4), daß es durch Kreuzung ausgewählter Rübsen- und Kohl-Herkünfte (vgl. Tab. 2) möglich ist, die genetische Variation des Rapses in Hinblick auf hohen C22:1-Gehalt nachhaltig zu verbessern.

Tab. 4. Qualitätseigenschaften von "Resynthese"-Rapsen ('Resyn') und ihren Eltern (Ernte Gewächshaus 1991)

Material	Öl % (ATM)	Fettsäure %				
		C18:1	C18:2	C18:3	C20:1	C22:1
'Blumenkohl 2287'	40,1	7,9	10,7	10,7	5,3	57,1
'Yellow Sarson'	48,8	10,6	10,5	7,6	6,2	56,7
Elternmittel	44,5	9,3	10,6	9,1	5,8	56,9
Min.	37,2	9,8	8,2	<u>4,1</u>	4,9	54,2
'Resyn' Mittel	40,5	13,1	9,7	5,7	6,6	56,8
Max.	43,6	<u>16,7</u>	10,5	7,4	8,7	<u>60,1</u>

Die Bedeutung von resynthetisiertem Raps liegt weniger in seiner direkten agronomischen Verwertbarkeit, als in der gezielten Verbesserung von vorhandenem Rapszuchtmaterial - hier im Hinblick auf das Zuchtziel hoher Erucasäuregehalt. In den bereits durchgeführten Kreuzungen von 'Resyn'-Formen mit herkömmlichem, C22:1-reichem Material (Inzuchtlinien, DH-Linien) sind zwei genetisch gänzlich verschiedene Raps-Genpools kombiniert worden, in deren Nachkommenschaften es möglich sein sollte, neue Rekombinanten mit günstigen Allel-Kombinationen für eine optimierte Erucasäuresynthese zu selektieren.

Schlußfolgerungen und Ausblick

Um den Qualitätsanforderungen der oleochemischen Industrie in möglichst kurzer Frist gerecht zu werden, wird als züchterisches Nahziel die Bereitstellung von Winterraps-Stämmen mit einem hohen Gehalt von etwa 60% Erucasäure angesehen. Dieser erste Schritt stellt bereits einen erheblichen Fortschritt dar, da die derzeit für den Industrieraps-Anbau verfügbaren Sorten nur einen C22:1-Anteil von ca. 50% erreichen (vgl. LÜHS und FRIEDT, 1994).

Unter unseren neu erstellten "Resynthese-Rapsen" befinden sich Formen, die es ermöglichen sollten, in spaltenden Nachkommenschaften von Kreuzungen mit leistungsfähigem, erucasäurehaltigem Winterrapsmaterial neue Genotypen mit mehr als 60% C22:1, max. 3% C20:1 und max. 5% C18:3 auszulesen. Solche erucasäurereichen Rapsstämme können der Landwirtschaft relativ bald zur Erzeugung von erucasäurereichem Rapsöl dienen.

Rapsöl mit C22:1-Gehalten von ca. 80% kann demgegenüber erst längerfristig verfügbar werden, wenn es gelingt, nach Isolierung der hierfür erforderlichen Enzyme aus entsprechenden Donorpflanzen (z.B. *Limnanthes*-Arten) die zugehörigen Gene mit gentechnischen Methoden in den Raps zu übertragen (WOLTER *et al.*, 1991; FRENTZEN, 1993; TAYLOR *et al.*, 1993). Darauf aufbauend können dann in Zusammenarbeit mit der Züchtungspraxis neue Sorten mit einem sehr hohen Erucasäuregehalt entwickelt werden.

Danksagung: Das dieser Veröffentlichung zugrundeliegende Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT) im Rahmen des Verbundvorhabens "Biotechnologie für die Züchtung von Industrieraps" unter dem Förderkennzeichen BEO/22/0319412B gefördert. Unser besonderer Dank gilt Annette Feil, Alexandra Bernhardt, Petra Degen und Horst Schaub für ihre ausgezeichnete technische Assistenz.

Literatur

APPELQVIST, L.-Å., 1976. In: J.G. VAUGHAN, A.J. MACLEOD, and B.M.G. JONES (eds.): The Biology and Chemistry of the *CRUCIFERAE*. Academic Press, New York, pp. 221-278.

- BERNERTH, R., and M. FRENTZEN, 1990. *Plant Sci.* 67, 21-28.
- CALHOUN, W., J.M. CRANE, and D.L. STAMP, 1975. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 52, 363-365.
- CHEN, B. Y., W.K. HENEEN, and R. JÖNSSON, 1988. *Plant Breeding* 101, 52-59.
- CHEN, B. Y., and W.K. HENEEN, 1989. *Hereditas* 111, 255-263.
- CHEN, B. Y., and W.K. HENEEN, 1992. *Euphytica* 59, 157-163.
- DIEDERICHSEN, E., and M.D. SACRISTAN, 1991. In: *Proceed. 8th Intern. Rapeseed Congress (GCIRC)*, Saskatoon, Sask., Canada, Vol. 1, pp. 274-279.
- ERICKSON, D.B., and P. BASSIN, 1990. *Rapeseed and Crambe: alternativ crops with potential industrial uses.* Bulletin No. 656, Agric. Exp. Station Kansas State Univ., Manhattan, USA.
- FAL, 1992. *Abschlußbericht über das Modellvorhaben "Versuchserzeugung Industrieraps".* Institut für Pflanzenbau der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig-Völkenrode.
- FRAUEN, M. und W. SAUERMAN, 1991. In: BEF (Hrsg.), *Forschungsdokumentation Produktions- und Verwendungsalternativen für die Land- und Forstwirtschaft - Nachwachsende Rohstoffe.* Schriftenreihe des BML, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Sonderheft. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, pp. 322-331.
- EIERDANZ, H., 1993. In: APPLEWHITE, T. (ed.), *Proceedings of the World Conference and Exhibition on Oilseed Technology & Utilization.* AOCS, Champaign, Illinois.
- FRENTZEN, M., 1993. In: *Forschungszentrum Jülich GmbH/BMFT, Ref. 323 (Hrsg.), Bericht Vortragstagung "Nachwachsende Rohstoffe: Industrieraps - Biotechnologie"*, pp. 106-120.
- ISTA, 1992. *Oil World Statistics Update.* ISTA/Mielke GmbH, Hamburg, Germany.
- JÖNSSON, R., 1977. *Hereditas* 86, 159-170.
- KONTOWSKI, S., W. LÜHS und W. FRIEDT, 1993. In: *Bericht 44. Arbeitstagung, Arbeitsgemein. der Saatzuchtler. Vereinigung Österreichischer Pflanzenzüchter*, Gumpenstein, im Druck.
- LEONARD, E.C., 1993. *Industrial Crops and Products* 1, 119-123.
- LÜHS, W. und W. FRIEDT, 1993a. *Major oil crops.* In: D.J. MURPHY (ed.), *Designer oilseed crops.* VCH Press Ltd., im Druck.
- LÜHS, W., and W. FRIEDT, 1993b. *Non-food uses of vegetable oils and fatty acids.* In: D.J. MURPHY (ed.), *Designer oilseed crops.* VCH Press Ltd., im Druck.
- LÜHS, W. und W. FRIEDT, 1994. *Fat Sci. Technol.*, im Druck.
- MAGRATH, R., C. HERRON, A. GIAMOUSTARIS, and R.F. MITHEN, 1993. *Plant Breeding* 111, 55-72.
- MAHLER, K.A., and D.L. AULD, 1988. *Fatty acid composition of 2100 accessions of Brassica. Winter rapeseed breeding program.* Univ. of Idaho, Moscow, USA.
- MITHEN, R.F., and R. MAGRATH, 1992. *Plant Breeding* 108, 60-68.
- MUUSE, B.G., CUPERUS, F.P., and J.T.P. DERKSEN, 1992. *Industrial Crops and Products* 1, 57-65.
- NIESCHLAG, H.J., and I.A. WOLFF, 1971. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 48, 723-727.
- PLÜMPER, B., 1991. *Proceed. 8th Intern. Rapeseed Congress (GCIRC)*, Saskatoon, Sask., Canada, Vol. 4, pp. 1034-1039.
- SCARTH, R., P.B.E. McVETTY, S.R. RIMMER, and B.R. STEFANSSON, 1991. *Can. J. Plant Sci.* 71, 865-866.
- SONNTAG, N.O.V., 1991. *Inform* 2, 449-463.
- TAYLOR, D.C., J.R. MAGNUS, R. BHELLA, J. ZOU, S.L. MacKENZIE, E.M. GIBLIN, E.W. PASS, and W.L. CROSBY, 1993. In: S.L. MacKENZIE, and D.C. TAYLOR (eds.): *Seed oils for the future.* American Oil Chemists' Society Press, Champaign, Illinois, pp. 77-102.
- THIERFELDER, A., W. LÜHS, and W. FRIEDT, 1993a. *Industrial Crops and Products* 1, 261-271.
- THIERFELDER, A., W. LÜHS und W. FRIEDT, 1993b. *Schriftenreihe LUFÄ Thüringen*, Heft 2/1993, 7-22.
- TÖREGÅRD, B., and O. PODLAHA, 1974. In: *Proceed. 4th Intern. Rapeseed Congress*, Giessen, Germany, Deutsche Gesell. Fettwissenschaft, pp. 291-300.
- WARWEL, S., 1993. *Fat Sci. Technol.* 95, 329-333.
- WARWEL, S., P. BAVAJ, B. ERCKLENTZ, M. HARPERSCHIED, M. RÜSCH gen. KLAAS und S. THOMAS, 1993. In: M. EGGERSDORFER, S. WARWEL und G. WULFF (Hrsg.): *Nachwachsende Rohstoffe.* VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, pp. 69-95.
- WOLTER, F.P., R. BERNERTH, I. LÖHDEN, V. SCHMIDT, G. PETEREK und M. FRENTZEN, 1991. *Fat Sci. Technol.* 93, 288-290.