

# 工业用油料植物脂肪酸及其改良

戚存扣

(江苏省农业科学院经济作物研究所, 国家油料作物改良中心南京分中心, 江苏 南京 210014)

**摘要:**概述植物脂肪酸的工业用途以及工业用途脂肪酸类型和油菜工业用途脂肪酸改良的潜力和可能性。

**关键词:**油料植物; 工业用途; 脂肪酸; 改良

**中图分类号:** S565. 033 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1007—9084(2006) 04—0492—06

植物油是人类营养的重要来源。据统计, 发达国家的人们从植物脂肪酸中获取的能量约为 25%<sup>[1]</sup>。植物油也是一些工业产品的重要原料, 更是潜在的可再生能源<sup>[1~3]</sup>。在能源紧张、环境恶化、人们的环保意识增强的今天, 人们正在考虑选择使用可更新的植物油能源产品。因此, 利用遗传多样性及生物技术途径, 对主要油料作物进行脂肪酸组成的全方位改良和培育含特种脂肪酸的油料作物品种, 降低工业用途脂肪酸的生产成本, 成为脂肪酸改良的目标<sup>[2]</sup>。

油菜是世界主要油料作物之一。菜籽油的主要成分为棕榈酸(C16 0)、硬脂酸(C18 0)、油酸(C18 1)、亚油酸(C18 2)、亚麻酸(C18 3)等。近年来, 随着油菜食用目的脂肪酸的成功改良(芥酸 <5%, 油酸含量 55%~63%), 油菜脂肪酸工业用途的改良研究越来越受到重视<sup>[3~9]</sup>。本文概述了油菜工业用途的脂肪酸及其改良的潜力和可能性。

## 1 植物脂肪酸的工业用途

植物脂肪酸的工业用途主要有 6 个方面, 即润滑剂、表面活性剂、包埋剂、聚烯类产品、医疗及理疗产品和生物能源原料<sup>[2,3]</sup>。

**润滑剂:**主要替代石化产品用于纯耗油型作业领域, 如森林砍伐用的条锯、双缸发动机、石油钻井、农用机械的润滑剂以及一些液压机械的润滑剂, 以减少石油化学产品对环境和生态的破坏。但普通植物油润滑剂化学稳定性易受温度(高温和低温)的影响, 但用高油酸含量植物油作润滑剂时, 化学稳定性不受温度影响。

**表面活性剂:**包括洗涤剂、肥皂分散剂、乳化剂、增湿剂、发泡和抗发泡剂和一些溶剂等, 主要来源是

热带植物油, 特点是饱和脂肪酸含量较高。

**包埋剂:**上光剂、油漆和油墨制品等。主要为干性油, 如亚麻油、桐油等, 多聚不饱和脂肪酸含量超过 50%。

**聚酯类:**功能添加剂, 如塑料工业的促滑剂、抗阻剂、抗静电剂、成塑剂、稳定剂、加工助剂和火焰延迟剂等。化学中间体的原料, 如不饱和脂肪酸的氧化裂解产生的二羧酸是生产聚胺(尼龙)的基础材料。但其臭氧分解加工既昂贵又费时。可用植物油(或菜籽油)生产多元醇和多聚脲烷。

**医疗、理疗产品:**可从植物油中提炼间白细胞素(interleuking)和水蛭素(hirudin), 植物脂肪酸也是生产化妆品的重要原料<sup>[10]</sup>。

**生物能源:**植物脂肪酸是一种类似石油成份的碳氢化合物, 通过加工可用作燃料柴油(绿色能源—生物柴油)。石化工业主要原料是石油, 石油是不可再生的资源, 从中分离和提取油脂化合物, 不仅费用昂贵, 而且加工和使用过程还会产生对生态环境有害的物质。植物油脂化学产品具有有害气体排放少、环境友好及对土壤、水体微生物无害等特点, 因此可替代石油产品用作生物燃料和动力用油。

## 2 可用作工业原料的植物脂肪酸种类

植物油中的脂肪酸通常是一种没有侧链的化合物。自然界中脂肪酸有 200 多种, 多样性非常丰富。然而, 人类只利用了其中的一小部分<sup>[11]</sup>。植物脂肪酸的碳键数目在 12~22 之间, 具有 0 到 3 个顺式双键的结构。脂肪酸类型主要与碳链长短、双键数目、双键位置以及附加功能基团(如羟基、环氧基和环

收稿日期: 2006—02—23

基金项目: 农业部“948”(2003-Q04); 江苏省农业高技术(BG2004307, BG2005308)

作者简介: 戚存扣(1953—), 男, 江苏人, 博士, 主要从事油菜遗传改良研究。Email: qck@jaas.ac.cn

丙烯基等)有关<sup>[12]</sup>。作为工业原料的植物油源较多,它们的共同特点是脂肪酸组成中某一(特种)脂肪酸含量较高。适合工业用途的植物脂肪酸主要有如下几种<sup>[11]</sup>。

油酸(oleic, C18 1<sup>9</sup>),属单烯不饱和脂肪酸。它是极具营养价值的食用脂肪酸,长期食用能有效预防动脉硬化和心血管疾病<sup>[13]</sup>。油酸的化学性质十分稳定,高油酸油除非常适合于作煎炸食品用油外,它的加工产品的化学稳定性与从矿物油中加工提取的润滑剂相似<sup>[14]</sup>,可作为生产工业润滑剂的原料,同时也是生物柴油的重要原料。高油酸含量已成为油料作物品质改良的重要目标<sup>[4,15,16]</sup>。岩芹酸(Petroselinic, C18 1<sup>6</sup>)是油酸的异构体,可经裂解生成月桂酸(lauric, C12:0)和己二酸(adipic, C6:0)。伞形花科的茴香属(*Foeniculum vulgare*)植物的芫荽(*Coriandrum sativum*)种子中岩芹酸含量在75%以上<sup>[17]</sup>。

亚麻酸(linolenic, C18 3<sup>9,12,15</sup>)和芥酸(erucic, C22 1<sup>9</sup>)。亚麻酸是亚麻(*Linum usitatissimum*)、苏子(又称紫苏 *Perilla frutescens*)油的主要成分,属于干性油范畴,是包埋剂的工业原料。芥酸是生产芥酸酰胺的原料,而芥酸酰胺则是生产塑料制品的添加剂。除油菜籽外,其它含芥酸的植物包括海甘蓝(*Crambe abyssinica*)含55%~63%;草地泡沫(*Linum nanthes alba*)含20%;锻花属(*Lunaria annua*)植物含48%;旱金莲科(*Tropaeolaceae*)等植物中含78%的芥酸。

中短链脂肪酸,是塑料、润滑剂、表面活性剂和工业尼龙的生产原料。富含短链脂肪酸的植物包括千屈菜科萼距花属植物(*Cuphea*),它们的油中辛酸(caprylic, C8:0)、癸酸(capric, C10:0)和月桂酸(laric, C12:0)等脂肪酸含量较高。樟科植物(*Lauraceae*)中富含月桂酸。如黄肉楠属植物(*Actinodaphne*)油中月桂酸含量高达90%,木姜子属植物(*Litsea cubeba*)油中月桂酸含量达83%。

羟基脂肪酸是润滑剂、表面活性剂、塑料(尼龙1212;尼龙-11和尼龙-13)和油漆工业的主要原料,更是航空工业用油的油源。蓖麻油酸(ricinolic, C18 1<sup>9,12-OH</sup>)是蓖麻(*Ricinus communis*)油主要组成成分(含量>85%),十字花科 *Lesquerella* 属植物富含羟基脂肪酸。*L. lindheimeri*中含72%的C20羟基单烯酸(lesguerolic, C20 1<sup>11,14-OH</sup>),其结构与蓖麻油酸相似。*L. densipila*含50%的C18羟基二烯酸(dencipolic, C18 2<sup>11,15,12-OH</sup>),*Lesquerella*属

植物油中无毒性物质存在,它的羟基二烯酸可作化学中间体,并可替代乌桕油。

环氧脂肪酸(vemolic, C18 1<sup>9,12-环氧基</sup>),可作聚氯乙烯的稳定剂。斑鸠菊属(*Vernonia*)的 *V. anthelmintica*植物油中含75%~80%的环氧脂肪酸。菊科植物(*Stokesia laevis*)中含有75%的环氧脂肪酸。在 *Crepis*, *Erlangea*, *Cephalocroton* 和 *Euphorbia* 等属植物中亦含环氧脂肪酸。

液体酯(C40-C44)耐高温、高压,可替代巨头鲸油(C32-C36)作为高级润滑油,广泛应用于机械、航空等行业。浩浩巴(*Sinmondsia chinensis*)种子油中含60%液态酯(蜡),由于浩浩巴液体酯无油腻感,更适合于生产化妆品和健康护理产品。

共轭多烯不饱和酸的工业用途广泛,可作表面活性剂、包埋剂、化妆品和工业尼龙的生产原料。共轭多烯不饱和酸 eicosapentaenoic (EPA, C22:5)和 docosahexaenoic (DHA, C22:6)对癌细胞有细胞毒性。桐油,如 *Valeriana officinalis* 含40%的1、13位共轭三烯不饱和酸(punici, C18:3)。金盏花(*Calendula officinalis*)含55%的0、12位共轭三烯不饱和酸(Calendic, C18 3<sup>8,10,12c</sup>)。风仙花属的 *Impatiens degavorthii*油中含60%的1、13、15位共轭四不饱和酸。

### 3 油菜工业用途脂肪酸改良

#### 3.1 油菜含特种脂肪酸的遗传设计

传统遗传育种技术只能对植物脂肪酸或其它品质性状进行有限的改良。如芥酸含量,传统育种方法育成的高芥酸品种的芥酸含量在50%~55%,要进一步提高含量,需借助于生物学技术或遗传工程技术。自然界许多植物含有特种脂肪酸,但由于对生长环境要求严格,生长量小、产量低,不适合规模化栽培和商业化种植。油菜的单位面积产量高,而且不与其它作物争茬口。因此,应用分子生物学和遗传工程技术对油菜脂肪酸组成成份进行遗传代换和改良,培育含特种脂肪酸成份的新型、高附加值工业原料油菜<sup>[9]</sup>(图1)是油菜脂肪酸改良的新热点<sup>[7,9,18~24]</sup>。

#### 3.2 增加饱和脂肪酸含量

研究表明,通过分子遗传操作,调控去饱和酶活性,阻止双键的形成,可大幅度提高饱和脂肪酸含量。Calgene公司等将加州桂树(*Umbellularia californica*)中的酰基转移酶(acyl-ACP)-硫代酯酶基因通过遗传转化转移到拟南芥和油菜中,已获得高

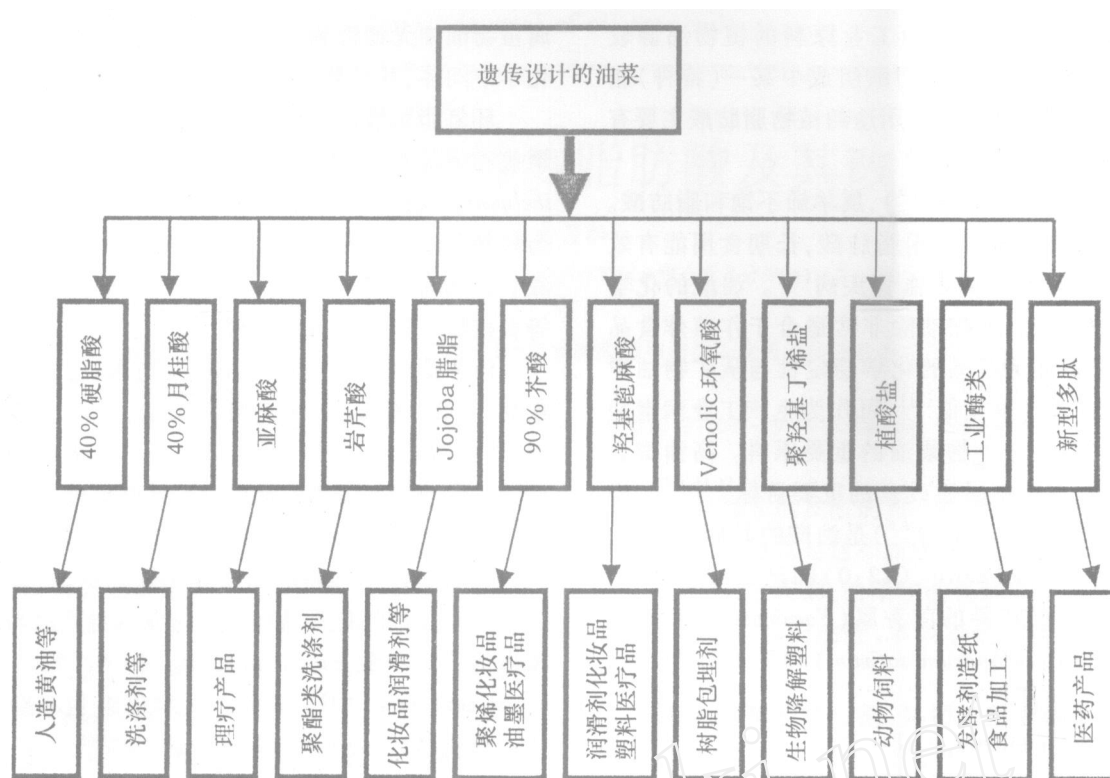


图 1 遗传设计的含特种脂肪酸的油菜及其工业用途 (Murphy DJ, 1992)

Fig 1 Designer oilseed rape with unique fatty acid profile for non - edible products

月桂酸含量 (24% ~ 58%) 的转基因油菜<sup>[25, 26]</sup>。从 *Cuphea hookeriana* 的 cDNA 文库中分离获得硫代酯酶基因 - *ch FaB2* 导入油菜, 已获得含 C8 和 C10 脂肪酸的转基因材料, 并育成高棕榈酸含量的双低油菜<sup>[27~29]</sup>。将可口核中的月桂酸专化 cDNA 转移到含加利福尼亚月桂树的硫代酯酶的油菜中, 月桂酸含量达 67%。转 35S - *Uc FatB1* 的油菜月桂酸含量高达 56%<sup>[30]</sup>; 含 *clFaB4* (*C. lanceolata*) 基因的转基因油菜含较高 C14 和 C16 饱和脂肪酸<sup>[31]</sup>; 用来自 *Mangostean* 中的 *acyl-ACP* 基因提高油菜的硬脂酸含量<sup>[32]</sup>。

### 3.3 提高芥酸含量

芥酸是长链脂肪酸, 也是十字花科植物的特征脂肪酸<sup>[8]</sup>。油菜种子脂肪酸组成中芥酸含量最高理论值为 67%<sup>[33]</sup>。通过基因累加可获得芥酸含量达到 55% ~ 60% 的材料<sup>[34, 35]</sup>。要进一步提高油菜种子中芥酸含量, 必须引入具有链延长功能的特异性酶<sup>[36, 37]</sup>。研究表明, TAG 的 sn-1 和 sn-3 位的酰基类型很大程度上依赖于细胞内的酰基 CoA 含量, 而 sn-2 位受 LPAAT 选择特异性的高度限制, 即 TAG 的 sn-2 位不接受 C16 或 C18 的饱和脂肪酸以及大于 C18 的不饱和脂肪酸<sup>[36, 38]</sup>。如果增加

芥酰 CoA 的浓度 (比油酰 CoA 高 5 倍), LPAAT 在 sn-2 位上还是优先激活油酰 CoA, LPAAT 的选择性很强。因此提高植物种子中芥酸含量水平, 仅提高细胞中芥酰 CoA 的浓度是不够的, 必须对 LPAAT 的功能进行修饰。Calgene 公司从 *Jojoba* (*Simm and sia chinensis*) 中分离出 2 个目的基因, 期望对此酶进行修饰。草地泡沫 (*Limnanthes alba*) 中的 LPAAT 酶能使芥酰 CoA 与 1-芥酰-3-磷酸甘油酯生成二芥酰基磷酸酯, 进一步生成三芥酰甘油酯<sup>[39]</sup>。许多研究者正在试图将草地泡沫的 LPAAT 基因转入高芥酸油菜中, 以期获得芥酸含量达到 90% 以上的新材料<sup>[8, 25, 26, 33]</sup>。

### 3.4 提高油酸含量

油酸是一种重要脂肪酸, 它既是食用营养脂肪酸, 又是重要的工业用脂肪酸。油酸的生物合成与油酸减饱和酶 (存在于细胞内质网上的 FAD2 和位于叶绿体上 FAD6) 活性有关。通过反义基因、共抑制、DNA 干涉和 hpRNA i 基因沉默技术等途径, 抑制 FAD2 酶的活性, 成功地提高油菜、大豆和棉籽油的油酸含量<sup>[16, 20, 40, 41]</sup>。应用 EMS 诱变技术, 从甘蓝型油菜品种 Wotan 的 EMS 诱变后代群体中分离筛选出多个高油酸 (71% ~ 86%) 材料<sup>[15, 16, 42]</sup>。Pionner

公司从甘蓝型油菜品种 Regent Topus和 Andor诱变后代获得油酸含量高达 83%的变异材料,并育成高油酸、低亚麻酸品种 45A37,46A40。

3.5 其它几种特种脂肪酸的遗传转化研究

几种特种脂肪酸的遗传转化研究在油菜上已取得进展。已从蓖麻 cDNA 文库中克隆出编码油酸 12-羟基化酶基因,该基因在拟南芥中表达结果,受体材料羟基脂肪酸含量超过 17%,其中,包括蓖麻油酸(18-1-OH)、lesquerolic(20-1-OH)和 den-cipolic(18-2-OH)三种羟基脂肪酸。已从 Eu-

phorbia laagscae中克隆了与亚油酸盐合成有关的环氧酯化酶基因,将其转移到油菜中以生产富含 ver-nolic 脂肪酸(18-1-环氧酯)的菜籽油的研究一直在进行中<sup>[19,42]</sup>。研究人员已从 Trichosanthes kiril-ow ii和 Punica granatum 克隆获得编码共轭化酶的一类基因 TkFac和 PgFac。TkFac和 PgFac等在拟南芥(Arabidopsis thaliana)中表达可获得 Punicic acid含量达到 10%的转基因植株<sup>[43]</sup>。Jay J. Thelen等<sup>[44]</sup>总结了已经获得的遗传工程植物中目标(特种)脂肪酸改良效果(表 1)。

表 1 应用遗传工程技术获得的含特种脂肪酸的转基因植物

Table 1 Selected example of fatty acid engineering in transgenic plants

脂肪酸	转基因植物	最大值/%	基因反应	基因来源	调节方式	参考资料
Caprylic	B nussica napus	38	Acyl-ACP thioesterase	Cuphea	Up	Dehesh et al, 1996
Lauric	B nussica napus	58	Acyl-ACP thioesterase)	California bay	Up	Voelker et al, 1996
Lauric	A nuidopsis	24	Acyl-ACP thioesterase	California bay	Up	Voelker et al, 1992
Palm itic	A nuidopsis	39	Acyl-ACP thioesterase	A nuidopsis	Up	Dom ann et al, 2000
Palm itic	B nussica napus	34	Acyl-ACP thioesterase	Cuphea	Up	Jones et al, 1995
Stearic	Soybean	30	Stearyl-ACP D-9; oleoyl-D-12 desaturase	Soybean	Down	Kinney, 1996
Stearic	B nussica napus	40	Stearyl-ACP D-9 desat	B nussica	Down	Knutzen et al, 1992
Stearic	Cotton	38	Stearyl-ACP D-9 desat	Cotton	Down	Liu et al, 2000
Stearic	B nussica napus	22	Acyl-ACP thioesterase	M angosteen	Up	Hawkins and Kridl, 1998
Petroselinic	Tobacco	4	Palm itoyl-ACP D-4 desat	Coriander	Up	Cahoon et al, 1992
O leic	Soybean	86	O leoyl-D-12 desaturase	Soybean	Down	Kinney, 1996
O leic	B nussica napus	89	O leoyl-D-12 desaturase	B nussica	Down	Stoutjesdijk et al, 2000
O leic	Cotton	77	O leoyl-D-12 desaturase	Cotton	Down	Liu et al, 2000
O leic	B nussica juncea	73	O leoyl-D-12 desaturase	B nussica	Down	Stoutjesdijk et al, 2000
O leic	A nuidopsis	54	O leoyl-D-12 desaturase	A nuidopsis	Down	Okuley et al, 1994
c-Linolenic (18-3w-6)	B nussica napus	47	O leoyl-D-6 and D-12 desat	M ortierella apina	Up	Ursin et al, 2000
Eleostearic, parinaric	Soybean	17	Conjugase	M am onlica	Up	Cahoon et al, 1999
D-5 Eicosenoic	Soybean	18	b-Ketoacyl-CoA synthase acyl-CoA desaturase	M eadowfoam	Up	Cahoon et al, 2000
羟基脂肪酸	A nuidopsis	30	O leate-12-hydroxylase	Castor/Lesquerella	Up	Smith et al, 2000
Ricinoleic	A nuidopsis	17	O leate-12-hydroxylas	Castor	Up	Brown et al, 1997
Acetylenic	A nuidopsis	25	Acetylenase	Crepis	Up	Lee et al, 1998
12, 13-Epoxy-cis-9-oleic	A nuidopsis	15	Epoxygenase	Crepis	Up	Singh et al, 2000
Wax esters	A nuidopsis	70	b-ketoacyl synthase acyl-CoA reductase wax synthase	Jojoba	Up	Landisabal et al, 2000

参考文献:

[1] Broun P, Gettner S, Somerville C. Genetic engineering of plant lipids [J]. Annu Review Nutrition, 1999, 19: 197—216

[2] Canuthers S P, Marsh J S, Tumer P W, et al Potential development and market - size limitation for new oilseed - rape opportunities[M]. In: Industrial Markets for UK - produced Oilseed, HGCA Research Review, OSP London Home - Grown Cereals Authority, 1995.

[3] Ohlhogge J B. Design of new plant products engineering of fatty acid metabolism [J]. Plant Physiology, 1994, 104: 821—826

[4] Auld D L, Heikkinen M K, Erickson D A, et al Rape-seed mutants with reduced levels of polyunsaturated fatty acids and increased levels of oleic acid [J]. Crop Sci, 1992, 3: 657—662

[5] Luhs W, Friendt W. Present status and prospects of breeding rapeseed (B nussica napus) with a maximum erucic acid content for industrial application [J]. Fat Science Technology, 1994, 96: 137—146

[6] Friedt W, Luhs W. Breeding of rapeseed (B nussica na-pus) for modified seed quality - synergy of conventional

- and modern application[M]. Proceedings of 10th Intern. Rapeseed Congress, Australia, 2000.
- [7] Friedt W, Luhs W. Development in the breeding of rapeseed oil for industrial purpose[M]. Procs of 9th International Rapeseed Congress (Cambridge U. K), 1995, 1: 437—448.
- [8] Leonard C. Sources and commercial applications of high erucic acid vegetable oils[J]. Lipid Technology, 1994, 6 (4): 79—83.
- [9] Murphy D J. Modifying oilseed crops for non - edible products[J]. Tibtech, 1992, 10: 84—87.
- [10] Goddijn O J M, Pen J. Plants as bioreactor[J]. Trends in Biotechnol, 1995, 13: 379—387.
- [11] Kleiman R. Chemistry of new industrial oilseed crops [M]. In: J. Janick and J. E. Simon (eds). Advances in new crops Timber Press, Portland O R, 1990. 196—203.
- [12] Stumpf P K. Structure and function of plant fatty acid synthesizing systems[J]. Fette Seifen Anstrichmittel, 1984, 86: 361—363.
- [13] Hu F B, Stampfer M J, Manson J E, et al. Dietary fat intake and risk of coronary heart disease in women[J]. New Engl J Med, 1997, 337: 1491—1499.
- [14] Narocon. Innovationsberatung Dr. Harald Kab 2001: Marktanalyse: Industrielle einsatzmöglichkeiten von High oleic pflanzenlen [M]. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Gülzow (Hrsg). Gülzower Fachgespräche, Band 19.
- [15] Rucker B, Robbelen G. Development of high oleic acid rapeseed [M]. Proceedings of 9th Intern. Rapeseed Congress, Cambridge, UK, Vol: 389—391.
- [16] Christian Morller. Development of high oleic acid oilseed rape [M]. Proceedings of 8th International Conference for renewable resources and Plant Biotechnology, NAAROSA, Magdeburg, 2002. 10—11, July.
- [17] Cahoon E B, Ohlrogge J B. Apparent role of phosphatidylcholine in the metabolism of petroselinic acid in developing Umbelliferae endosperm [J]. Plant Physiol, 1994, 104: 845—855.
- [18] Fitch Haumann. Structured lipids allow fatty acids tailoring[M]. NFOM 1997, 8: 1004—1011.
- [19] Friedt W, Luhs W. Recent developments and perspectives of industrial rapeseed breeding [J]. Fett/Lipid, 1998, 100: 219—226.
- [20] Kohno - Murase J, Murase M, Ichikawa H, et al. Effect of an antisense napin gene on seed storage compounds in transgenic *B. russica napus* seeds [J]. Plant Mol Biol, 1994, 26: 1115—1124.
- [21] Piazza G J, Foglia T A. Rapeseed oil for oleo - chemical uses[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2001, 10: 405—454.
- [22] Robbelen G. Changes and limitations of breeding for improved polyenoic fatty acids content in rapeseed [M]. In: Biotechnology for Oil and Fats Industry, 1984. 97—105.
- [23] Topfer R, Martini N, Schell J. Modification of plant lipid synthesis[J]. Science, 1995, 268: 681—686. variation in the content of erucic acid, Theor Appl Genet, 1998, 96: 177—186.
- [24] Wong R S C, Patel E, Seanson J. Development of canola with novel fatty acid profile [M]. In: J. Rattray (ED): Biotechnology of Plant Fats and Oils, 144—150. American Oil Chemists Society, AOCS Press, Champaign, Illinois, 1991.
- [25] Polard M R, Anderson L, Fan C, et al. A specific acyl - ACP thioesterase implicated in medium - chain fatty acid production in immature cotyledons of *Umbellularia canifomica* [J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1991, 284 (2): 306—312.
- [26] Polard M R, Stumpf P K. Biosynthesis of C20 and C22 fatty acids by developing seeds of *limnanthes alba*, chain elongation and desaturation[J]. Plant Physiology, 1980, 6: 649—652.
- [27] Dehesh K, Jones A, Knutzon K S, et al. Production of high levels of 8:0 and 10:0 fatty acids in transgenic canola by over expression of *Ch FaB2*, a thioesterase CDNA from *Cuphea hookeriana* [J]. The Plant J, 1996, 9 (2): 167—172.
- [28] Dehesh K. KAS, a 3 - ketoacyl - ACP synthase from *Cuphea* sp., is a medium chain specific condensing enzyme[J]. The Plant J, 1998, 15 (3): 383—390.
- [29] Jones A, Davies H M, Voelker T A. Palmitoyl - acyl carrier protein (ACP) thioesterase and the evolutionary origin of plant acyl - ACP thioesterases[J]. Plant Cell, 1995, 7: 359—371.
- [30] Eccleston V, Crammer A M, Voelker T A. Medium - chain fatty acid biosynthesis and utilization in *B. russica napus* plants expression lauroyl - acyl carrier protein thioesterase[J]. Planta, 1996, 198: 46—53.
- [31] Rudloff E, Welhling P. Release of transgenic oilseed rape (*B. russica napus* L.) with altered fatty acids[J]. Acta Horticultrae, 1998, 459: 379—385.
- [32] Hawkins D J, Kridl J C. Characterization of acyl - ACP thioesterases of mangosteen (*Garcinia mangostana*) seed and high levels of stearate production in transgenic canola[J]. The Plant J, 1998, 13 (6): 743—752.

- [33] Lüs W, Friedt W. Non - food uses of vegetable oils and fatty acids[M]. In "Designer Oil Crops", Murphy O J (Ed). Cambridge : VCH (UK) Ltd, 1994. 73—130.
- [34] 傅寿仲,张洁夫,戚存扣,等.工业专用型高芥酸油菜新品种选育[J].作物学报,2004,30(5):409—412.
- [35] 袁代斌,蒲定福,蒙大庆,等.工业用高芥酸油菜新品种绵油 13号的选育[J].中国油料作物学报,2003,25(3):85—87.
- [36] Lassner M W, Levering C K, Davies H M. Lysophosphatidic acid acyltransferase from meadow foam mediates insertion of erucic acid at the sn - 2 position of triacylglycerol in transgenic rapeseed oil [J]. Plant Physiol, 1995, 109: 1389—1394.
- [37] Katavic V, Friesen W, Barton D L, et al. Utility of the Arabidopsis FAE1 and yeast SLC1 - 1 genes for improvements in erucic acid and oil content in rapeseed [J]. Bioche Soc Trans, 2000, 28 (6): 935—937.
- [38] Benerth R, Frentaen M. Utilisation of erucoyl - CoA by Acyltransferase from developing seeds of *B. brassica napus* involved in triacylglycerol biosynthesis [J]. Plant Science, 1990, 67: 21—28.
- [39] Laurent P, Huang A H C. Organ and development specific acyl coenzyme, a lysophosphatidates in palm and meadow foam [J]. Plant Physiology, 1992, 99: 1771—1775.
- [40] Stoutjesdijk P A, Hurlestone C, Sighth S P, et al. High - oleic acid Australian *B. brassica napus* and *B. juncea* varieties produced by co - suppression of endogenous 12 - desaturase [J]. Bioche Soc Trans, 2000, 28: 838—940.
- [41] Qing L iu, Surinder P Singh, Allan G Green. High - Stearic and High - Oleic Cottonseed Oils Produced by Hairpin RNA - Mediated Post - Transcriptional Gene Silencing [J]. Plant Physiology Preview, 2002, 129: 1732—1743.
- [42] Singh S, Thomaes S, Lee M, et al. Transgenic expression of a 12 - epoxxygenase gene in *A. thaliana* seeds inhibits accumulation of linoleic acid [J]. Planta, 2001, 212: 872—879.
- [43] Schierholt A, Rucher B, Becker H C. Inheritance of high oleic acid mutations in winter oilseed rape (*B. brassica napus* L.) [J]. Crop Sci, 2001, 41: 1444—1449.
- [44] Jay J Thelen, John B Ohlrogge. Metabolic engineering of fatty acids biosynthesis in plants [J]. Metabolic Engineering, 2002, 4: 12—21.