

유채 품질 평가 현황과 전망

장 영 석[†]

농촌진흥청 호남농업시험장 목포시험장

Prospect and Situation of Quality Improvement in Oilseed rape

Young Seok Jang

Mokpo Agricultural Experiment Station, National Honam Agricultural Experiment Station(NHAES), RDA, Chungchunli, Chunggye-Myen, Muan, Jeonam 534-833, Korea

ABSTRACT : Rapeseed (*Brassica napus* L.) is an important oil crop as a vegetable oil, concentrated feed and industrial materials. The name "canola" was registered in 1979 by the Western Canadian Oilseed Crushers Association to describe "double-low" varieties. Double low indicates that the processed oil contains less than 2% erucic acid and the meal less than 3 mg/g of glucosinolates. Today annual worldwide production of rapeseed is approximately 35 million tons on 24 million hectares. China accounts for 33% of the world production and the European Economic Community for nearly 32%. Canola ranks 3rd in production among the world's oilseed crops following soybeans, sunflowers, peanuts and cottonseed. The recent advances in genomics and in gene function studies has allowed us to understand the detailed genetic basis of many complex traits, such as flowering time, height, and disease resistance. The manipulation of seed oil content via transgene insertion has been one of the earliest successful applications of modern biotechnology in agriculture. For example, the first transgenic crop with a modified seed composition to be approved for unrestricted commercial cultivation in the US was a lauric oil, rapeseed, grown in 1995. There were also some significant early successes, mostly notably the achievement of 40% to 60% lauric acid content in rapeseed oil, which normally accumulates little or no lauric acid. The name "Laurical™" was registered in 1995 by Calgene Inc. Nevertheless, attempts to achieve high levels of other novel fatty acids in seed oils have met with much less success and there have been several reports that the presence of novel fatty acids in transgenic plants can sometimes lead to the induction of catabolic pathways which break down the novel fatty acid, i.e. the plant recognizes the "strange" fatty acid and, far from tolerating it, may even actively eliminate it from the seed oil. It is likely that, in the future, transgenic oil crops and newly domesticated oil crops will both be developed in order to provide the increased

amount and diversity of oils which will be required for both edible and industrial use. It is important that we recognize that both approaches have both positive and negative points. It will be a combination of these two strategies that is most likely to supply the increasing demands for plant oils in the 21st century and beyond.

Keyword : oilseed rape, quality, canola, double-low, lauric oil

유채는 십자화과(*Cruciferae*), 배추속(*Brassica*)에 속하는 1년생 또는 2년생 초본으로 기름을 생산하여 식용, 샐러드용, 항공기 윤활유, 세제의 정화제 및 천연디젤연료 등으로 이용하고 있고, 식용의 경우 토코페롤 함량이 높아 캐나다, 미국, 영국 및 프랑스 등에서 섭취가 매년 급증하고 있는 추세이다. 유채의 박(粕)이나 청초는 가축의 사료로 쓰여지고 있으며, 특히 꽃은 관광자원과 밀원으로 한몫을 하고 있는 부가가치가 높은 작물의 하나이며 재배양식은 재배지역의 기후여건에 따라 춘파와 추파재배로 나뉘어져 있다.

유채의 불량성분인 기름의 에루진산과 박의 구루코지노레이트를 줄이기 위한 품종육성 연구가 1950년대부터 캐나다에서 시작되었고, 1980년대에 이르러 저 에루진산(low-erucic acid), 저 구루코지노레이트(low-glucosinolate)품종이 개발되면서 세계 여러 유채재배 국가에서 관심을 갖게되었다. 1985년에 캐나다에서 품질이 개량된 품종을 'Canola'로 부르면서 Canola는 기름에서 에루진산(C 22:1)이 2% 이하, 구루코지노레이트는 건물 1g당 30 μmol 이하인 것을 CCA 상표로 하였다. 유럽에서는 double low 유채는 에루진산 2% 이하, 구루코지노레이트 35 μmol로 규정하고 있으나, 구루코지노레이트를 1992년에 20 μmol, 1995년에 15 μmol로 낮추었다. 공업용 유채는 기름내에 에루진산이 45% 이상 포함되어 있는 것이 바람직하다고 평가한다. 또한 최근 들어 저 에루진산 유채 기름이 식용유로서 안정하다는 것이 미국의 FDA로부터 인정되면서 미국에서 유채를 식용기름으로 이용하고자 생산이 증가되고 있

[†]Corresponding author: (phone) 82-61-453-2479

(E-mail) j570510@rda.go.kr

<Received June 26, 2002>

으며, 유채는 식물성기름의 자원으로서 세계 3번째이다 (Hauman 1988).

특히 고전육종과 결합된 생물공학적 접근은 새로운 바람직한 형질을 소유한 품종과 육종모재를 육성하는데 있어서 doubled-haploid 계통의 육성, 중간교잡 및 분자표지인자 기술과 같은 폭넓은 방법이 제공된다. 새로운 형질을 갖는 유채품종들이 포장시험에서 평가가 이루어지고, hybrid 육종을 위한 화분조절 체계 확립, 제초제저항성 계통 선발 및 유전자 변형에 의한 종자 품질개량등 많은 다른 결과들이 소개되고 있으며, 소위 관행의 고전육종과 현대적인 방법이 장래의 유채 육종에 시너지효과를 갖도록 이용되어질 것이다. 그러나, 장래의 유채 품질개량은 유전공학의 도움없이 만족도를 실현할 수 없을 것이다. 새로운 형질을 갖는 유채품종들이 포장시험에서 평가가 이루어지고, hybrid 육종을 위한 화분조절 체계 확립, 제초제저항성 계통 선발 및 유전자 변형에 의한 종자 품질개량 등 많은 다른 결과들이 소개되고 있다. 이에 필자는 유채의 품질 연구 방향 및 활용방안 등에 관련한 유채의 전망에 대하

여 살펴보고자 한다.

세계의 유채 수급상황

현재 세계의 유채 수급현황은 종전의 식용유로 섭취할 때 인체에 해로운 고 에루진산을 저 에루진산으로, 유채박을 가축의 농후사료로 이용할 때 소화불량을 야기시켰던 고 구루코지노레이트를 저 구루코지노레이트로 품질이 개량된 양질품종이 개발되면서 단위면적당 수유율이 가장 높기 때문에 식물성기름의 급원으로 세계 각국이 관심을 갖게됨과 동시에 재배면적이 늘어나기 시작하였다. '95년 이후부터는 세계 유지작물 중 재배면적과 생산량에서 세계 3위로 부상하게 되었다.

유채는 미국, 캐나다, 영국, 독일, 프랑스 및 호주 등 선진국에서 많이 재배되고 있으며, 특히 '90년대 중반부터 중국이 경제개발정책을 실시하면서 국민소득이 증가되자 유채기름의 소비가 급증하게 되고, 아울러서 유채 재배면적 및 생산량도 지속적으로 증가하는 추세이다.

Table 1. Total production of major oil crops in the world

(Unit : 1,000t)

Oil crop	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Soybean	126,979	130,206	144,417	160,097	157,783	161,406	171,847
Cottonseed	56,558	55,156	54,349	51,789	52,830	53,297	56,526
Rapeseed	34,317	30,527	35,178	35,842	43,296	39,662	35,688
Groundnut	29,057	31,466	29,636	34,156	31,475	34,325	34,395
Sunflower	26,258	24,303	23,303	25,014	28,829	26,094	22,035

「Data : FAOSTAT」

Table 2. Cultivation area of major oil crops in the world

(Unit : 1,000t)

Oil crop	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Soybean	62,496	61,081	66,947	70,976	71,890	74,150	76,368
Cottonseed	35,670	34,533	33,868	33,427	32,570	31,876	33,886
Rapeseed	23,943	21,780	23,557	25,938	27,827	26,180	24,015
Groundnut	22,280	22,542	22,518	23,437	23,477	23,540	25,102
Sunflower	20,884	20,438	18,753	20,696	23,242	20,977	18,126

「Data : FAOSTAT」

Table 3. Rapeseed production of high production countries in the world

(Unit : 1,000t)

Country	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
China	9,777	9,021	9,544	8,300	10,312	11,381	11,760
E U	10,806	8,672	10,534	11,972	14,815	11,785	11,384
India	5,758	5,999	6,658	4,703	5,660	5,960	4,090
Canada	6,434	5,062	6,392	7,643	8,798	7,119	4,789
USA	250	219	416	709	621	917	925
World	4,317	30,527	35,178	35,842	43,296	39,662	35,688

「Data : FAOSTAT」

Table 4. Rapeseed cultivation area of high cultivation countries in the world

(Unit : 1,000ha)

Country	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
China	6,907	6,734	6,475	6,527	6,899	7,770	8,000
E U	4,260	3,614	3,784	4,342	5,496	4,700	4,553
India	6,060	6,546	6,545	7,041	6,597	6,070	4,630
Canada	5,271	3,451	4,870	5,429	5,564	4,816	3,829
USA	174	142	283	437	424	612	634
World	23,943	21,780	23,557	25,938	27,827	26,180	24,015

「Data : FAOSTAT」

유채 종실의 함유성분과 기능

유채의 종자에는 40~45% 기름이 함유되어 있으며 기름의 지방산 조성은 품질개량이 되지않은 품종들은 주로 palmitic acid(C16:0), stearic acid(C18:0), oleic acid(C18:1), linoleic acid(C18:2), linolenic acid(C18:3), eicosenoic acid(C20:1) 및 erucic acid(C22:1)의 지방산으로 조성이 되어있는데, 품질이 개량된 품종인 canola는 불량지방산인 erucic acid를 제외한 palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid 및 eicosenoic acid로 조성되어 있다. 유채박의 양분조성은 dry matter 89%, crude protein 36.5%, calcium 0.7%, phosphorus 1.2%, potassium 1.3%, magnesium 0.6%, acid detergent fiber 20%, neutral detergent fiber 25%, total digestible nutrient 66%, undegraded intake protein 30%, net energy-lactation mcals/lb 0.68% 및 nonfiber carbohydrare 25.1%로 구성되어 있으며, glucosinolate(isothiocyanates, oxazolidine-2-thiones, nitriles, thiocyanates를 포함)는 품질이 개량되기 전에는 3 mg/g 이상이였으나 품질이 개량된 canola는 3 mg 이하이다.

특히, 유채 박에는 gluconapin으로 불리는 sinigrin이 포함되어 있고, 가수분해에 의해서 기름에 함유되어 있는 자극적인 sulphur를 생산한다. 종자는 6개의 배당체(glucoside); gluco-brassicinapin, glucoiberin, gluconapin, gluconasturtin, glucorapiferin(progoitin) 및 sinalbin을 포함하고 있다.

앞으로부터 생산된 배당체는 hexadecatrienoic acid이다. 뿌리에는 allantoin과 allantoin이 들어있다. glucosinolate sinigrin (potassium myronate)와 myrosin 효소(myrosinase); sinapic acid; sinapine(sinapic acid choline ester); fixed oils(25-37%)은 주로 erucic, eicosenoic, arachidic, nonadecanoic, behenic, oleic 및 palmitic acid를 주로 포함하고 있으며, protein(globulins 등)과 mucilage를 내포하고 있다. Myrosin(myrosinase)에 의한 가수분해로 sinigrin이 isothiocyanate, glucose 및 potassium bisulfate이 생성된다. Allyl isothiocyanate는 휘발성이고, 다른 미량의 휘발성물질은 methyl, isopropyl, sec-butyl, butyl, 3-butenyl, 4-pentenyl, phenyl, 3-methylthiopropyl, benzyl과 β -phenylethyl isothiocyanate를 포함하는 물질로 가수분해

효소에 의해서 자유롭게 안정화된다.

유채의 품질개량과 이용

식용유 및 박 사료 급원 유채 품종 개량

고 에루진산에서 저 에루진산으로의 변화가 1968년에 캐나다에서 저에루진산 품종인 'Oro'가 육성되면서 전세계 유채의 성장을 촉진하는 자극제가 되었고, 1974년에 처음으로 canola인 'Tower'를 육성하였다. 유럽에서, 뒤늦게 1974년에 처음 저 에루진산 품종개발을 착수하였다. 유럽과 캐나다에서 생산되는 거의 모든 유채는 canola이다. 저에루진산의 도입이 중국과 인도에서도 시작되었다.

작물의 품질에대한 이러한 변화는 특수화된 공업용유채의 생산에도 요구된다. 이러한 목적으로 개량된 품종들이 캐나다, 미국 및 유럽에서 개발되어 왔다. 고에루진산 기름이 상대적으로 식용유와 비교하여 공업용 유채의 수요가 작아지면서, 대다수 작물육종가들은 canola에 과도하게 매달리고 있다. 이것은 새로운 공업용 유채의 경쟁력이 약화되게 하였고 공업용유채의 생산을 복잡하게하였다.

Linoleic acid와 linolenic acid같은 polyunsaturated fatty acid(PUFA)의 영양적으로 불리한 점이 있는데, 유채는 8-10%의 linolenic acid를 포함하고 있기 때문에 linolenic acid가 적게 함유되거나 없는 기름보다 더 빨리 산패가 된다. 예로서 linoleate와 linolenate의 산화는 oleic acid보다 10-25배 더 높다. 유채에서 thiobarbituric acid(TBA)-test와 같은 빠른 검정 방법에 의해 linoleic/linolenic의 비율을 변경한 것들의 지속적인 선발과 화학적 돌연변이 유발을 이용하여 low-linolenic acid 형질을 갖는 유채를 만들어냈다. 종자에 돌연변이를 유발시켜 PUFA를 더 낮은 수준으로 유도한 결과 oleic acid가 80%까지 증가된 품종도 육성하게 되었다.

더욱이, 12-15개 desaturase로 작용하는 12-15개의 유전자들이 분리되었고, 유전공학적으로 high-oleic acid나 high-linoleic acid가 유도되었다. oleic acid가 높고, linolenic acid가 낮은 식물성기름은 고급요리에서 요구되는 음식의 salad dressing을 위하여 안정된 온도로 튀길 때의 salad 기름으로 거래된다. PUFA 수준을 줄인 대신에 oleic acid가 증가되면

불쾌한 냄새와 산패에 의한 악취를 줄이게 되고, high-oleic과 low-linolenic 기름은 과도한 수소첨가 없이 산화에 더 안정하며, 식물성기름의 수소첨가동안에 형성된 trans-fatty acid를 줄일 수 있다. 특히 영양적으로 cis-fatty acid의 기하학적 이성체들은 영양적으로 부정적인 효과가 있음이 밝혀졌다. Trans-fatty acid는 포화지방산 보다 더 큰 범위에서 혈청 low-density lipoprotein(LDL) 콜레스테롤을 증가시키고, 혈청 high-density lipoprotein(HDL) 콜레스테롤을 줄인다.

또한 유채에서 high palmitic 계통은 *Cuphea hookerina*로부터 분리한 16:0-ACP thioesterase 유전자의 도입으로 개발되었다. *Cuphea lanceolata*로부터 C/FatB4 유전자의 도입은 myristic과 palmitic의 총량이 40%를 갖는 형질전환 유채를 만들게 되었다.

기름이 추출된 유채 박은 아미노산이 균형있게 조성된 단백질이 40%가 들어있다. 유채 박의 품질은 glucosinolate에 따라서 phytic acid와 같은 sinapine, phenolic acid와 tannin을 포함하는 것은 영양적 가치를 저하시킨다. Sinapine의 경우 악취를 풍기는 trimethyl lamine의 생성으로 가금류의 사료로 사용할 때 제한적인 요인이 된다. Tannin은 종자의외피에 주로 들어 있는데 노란색종피보다 어두운 검붉은 색에 더 많이 들어있다. 이러한 화합물은 특히 단백질 가수분해를 저해하여 소화효소를 방해한다. Phytic acid는 주로 배(胚)에 들어있고, 필수 광물원소인 인과 결합이 된다. 이러한 반영양적화합물은 반추동물의 영양급원으로 유채박을 사용할 때 저해한다. 단백질의 비율을 높이고 소화에너지를 증가시키고자할 때 유채에 노란색 종자의 도입이 필요하고, canola의 품질을 높일 수 있으며, 대두박과 비교하여 경쟁력을 갖는데도 기여할 수 있다.

유채박의 영양적가치를 개량하기 위하여 흑색종피를 노란색종피로 바꾸고자 하는 육종을 시도하여 성공하였는데, 유채의 경우 유전적 및 환경적 요인은 유채에 검은색으로부터 노란색까지 다양한 종자색깔을 줄 수 있는 가능성이 있으며, 노란색종피는 3개의 유전자가 관여하여 종피색을 결정하며 열성호모 유전자들임을 밝혔다. 또한 glucosinolate와 연관된 파생산물은 살충제로서 그 이용 가능성이 있고, glucosinolate는 β -D-thioglucose 일부를 소유하는 유기음이온이며, isothiocyanate의 형태로 재조성이 될 수 있으며, metam-sodium(Vapam)의 화합물을 생성할 수도 있다. 십자화과 식물조직이나 조직 추출물은, glucosinolate 함량이 높으며, phytotoxic 작용과 살충의 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 유채 박으로부터 glucosinolate는 *Cylindrocladium parasiticum*(Crous Wingfield and Alfenas)에 대한 곰팡이 방제의 효과, 땅콩의 *Cylindrocladium black rot*(CBR)의 조류를 죽이는 효과가 있음이 밝혀졌고, 땅콩의 CBR(*Cylindrocladium black rot*)과 콩의 SCN(soybean cyst nematode, *Heterodera glycines* Ichinohe)을 방제하는데 유채 박에 풍부한 glucosinolate의 효과를 구명하는 연구가 이루어지고 있다.

유채로부터 새로운 기름작물의 육성

새로운 유채 기름의 계통을 선발하고자 유전공학 기술을 활용한 연구는 지난 많은 성과가 있었으며, 제 2차 새로운 작물 연맹회에서, 순화되지 않은 여러 종으로부터 가치있는 12-C(carbon) 지방산인 laurate(C 12:0)의 생합성에 관여하는 유일한 효소를 분리했다고 보고하였다. 관여유전자를 cloning하였고, *E. coli*에 표현되도록 하여 박테리아 배양에 의해서 다량의 laurate를 생산할 수 있었다. 그때 당시 식물에 형질전환을 하기 위한 참여가 많았다. Laurate는 형질전환된 종자들로 생산이 될 수 있고, high-lauric 유채계통이 개발되어 상업적 영농에 새로운 기름작물이 되며, 특별한 기름을 생산하는 첫 번째 상업적 생산은 40 mol% laurate를 포함한 Laurical™을 탄생시켰다.

이와 같이 high-lauric acid를 함유한 기름의 개발이 급속하게 진전되면서, 또 다른 종류의 기름을 개발하려는 중요한 연구들의 진전이 있었다. 지방산과 기름 생합성에 대한 많은 중요한 유전자들이 cloning되었고, 그들 중 몇 가지는 유채에 도입되었다. 그 결과로 몇가지는 매우 흥미로운 형질전환된 새롭고, 상이한 종류의 기름종자인 유채 식물체들이 만들어졌고, 상업적인 품종의 육성을 위한 본보기로 자리잡게 될 것이다. 몇 년 이내에 새로운 유채의 육성이 기대되고, 특별한 적용이 될 수 있는 또 다른 기름을 생산할 수 있으며, 유채 재배자들을 위하여 새로운 기회를 줄 수 있다. 유채 재배자, 기름종자 가공자, 소비자에게 바람직한 발전이 될 수 있다. 최근의 여러 가지 측면에서 언급된 내용을 보면 식물의 지질대사의 생화학 과 분자생물학의 이해할 수 있는 범위로 표현이 되었고, 기름종자의 유전공학 연구가 폭넓게 추진되고 있다. Calgene Inc.의 기름분과에서 식물 기름의 유전공학에 대한 주요한 진전을 간략하게 표현할 수 있다. 보다 현명한 기름의 생산을 위한 우리의 매개체는 유채이고, canola라 불리는 low-erucic형으로 언급이 된다.

① LAURICAL™

California bay(*Umbellularia californica*)로부터 분리한 12:0-ACP(acyl-carrier protein) thioesterase는 유채 배(胚)의 원형질체안에서 지방산 생합성과 관련하여 성공적으로 상호작용하였고, 그 결과 상당량의 laurate가 축적되었다. 이러한 laurate는 거의 축적되는 기름이고, 외래의 지방산이 원형질체로부터 생성된 것이며, triglycerides(TAGs)의 집합물로서 Kennedy pathway의 효소에 의해서 이용된다. 최초의 형질전환체는 기름의 laurate 양에 변화가 있었으며, thioesterase 활성이 여러 형태로 발현되도록 형질전환유전자의 표현에 따라 나타내진 결과이다. 종자의 비파괴적 분석으로 high-lauric 계통을 선발할 수 있었으며, 지속적인 육종과 포장실험으로 품종을 개발하였다. 이 품종은 'Laurate Canola'로 알려져 있고, 1994년에 Georgia에서 재배되었다. 이 품종은 지방산 집단의 40%가 laurate로되는 기름을 생산하였다. Laurical™으로 알려진 이 유

일무이한 기름은 비누와 세제의 제조에 적용이 된다. 음식재료로서의 이용 가능성이 현재 조사 중에 있다.

② HIGH-LAURIC OIL

이들 형질전환된 식물체에 laurate 기름이 풍부한 것은 종자에 표현된 12:0-ACP thioesterase 활력의 양과 관련이 있으며, 대략 60 mol% laurate이다. Thioesterase 활력의 증가는 첨가된 유전자의 복제나 이들 유전자가 삽입된 새로운 계통에 의하여 표현될 수 있는 가능성이 있으며, 활력이 높다고 해서 기름에 laurate가 더 많아지도록 효과가 있는 것은 아니다. 한가지 사실은 Kennedy pathway의 두 번째 acyltransferase 반응에 의해서 포화된 기질의 이용에 유전적인 제한이 있다는 것이다. 유채에서, lysophosphatidic acid acyltransferase(LPAAT)는 sn-2 acylation 단계에서 18:1에 포함된 기질에 대한 강력한 선택을 발현하도록 촉매역할을 한다. 그 결과로, 유채의 TAGs는 sn-2 위치에서 과도하게 불포화된 acyl 조성물이 된다. 형질전환된 식물체안에서 축적되는 laurate는 TAGs의 역할이라고 판단하였다. 52 mol% laurate를 포함하고 있는 형질변형된 계통으로부터 TAGs의 sn-2 위치에서 5 mol% laurate를 갖는다. sn-1과 sn-3 위치에서 평균 laurate 함량은 76 mol%이다. 아주 높은 laurate를 갖는 기름종자의 품종을 개발하는 것은 sn-2 위치의 acyl 집단, medium-chain 및 협력적인 포화 상태를 가질 수 있는 LPAAT 활력이 존재하여야 한다.

Medium-chain 기질에 대한 선호는 LPAAT를 갖는 곳에서 다시 laurate가 기름내에 축적되도록 종자조직에 주의를 기울여야 한다. 이것은 coconut의 미성숙 배유에 적당한 활력으로 구분할 수 있으며, 효소와 관련하여 이러한 막의 유동화를 연구하였다. 충분한 정제는 밝혀진 단백질을 점검하여 볼 수 있으며, 이에 상응하는 유전자를 cloning하게 된다. *E. coli*에서 이러한 유전자의 발현은 medium-chain LPAAT 활력을 풍부하게 하고, 그것의 동정을 확실하게 해준다. Napin 증폭제의 조절하에 LPAAT를 발현하는 유채는 laurate를 생산하는 형질전환된 계통과 교배를 해왔다. F₁의 후대 종자들에 축적된 기름의 1차적 분석은 coconut LPAAT를 도입한 것들이 sn-2 위치 안에서 합병된 laurate임을 보여준다. sn-2에서 laurate가 30 mol%로 풍부한 것도 laurate 양이 40 mol%로 늘어나게 된다. 이러한 결과는 TAG 구조의 조절이 첫번째로 표현된 것이고, 때때로 기름작물의 유전공학에 의해서 구조화된 triglyceride의 생산 때문이기도 하다. 위의 교배로부터 F₁ 종자의 생산은 thioesterase와 LPAAT 전환유전자 양자가 분리되어 파생되기도 하며, 우리는 성공적인 자식세대를 이끌어서 sn-2에서 laurate의 생산이 같은 양의 laurate로 재조정되고, laurate가 풍부한 기름이 증가된 것을 실험하여 선발할 수 있다.

③ OTHER MEDIUM-CHAIN FATTY ACIDS

Acyl-ACP thioesterase 가운데에 여러 가지 연관된 것들이 많은데, Calgene사에서 T.A. Voelker, K. Dehesh, J. Kridl, L. Yan 등이 cloning하였다. 이들을 A와 B의 두 그룹으로 나

누어서 모든 고등식물에 존재하는 것으로 미루어 짐작하였다. A thioesterases는 식물 지방산 생합성의 oleoyl-ACP thioesterase로 편재되어 나타난다. B의 집단은 포화된 acyl-ACP 기질에 존재하며, 특별하게 medium-chain-preferring형이고, 특별한 기름종자에서만 찾아 볼 수 있다. B집단은 14:0과 16:0 기질에 대하여 선호하는 thioesterase를 포함하고 있으며, 기름종자내에 축적되지 않고 식물체로부터 분리하여 cloning만 될 뿐이다. 이러한 thioesterase의 기능은 고등식물에만 편재되어 있고, 식물의 조직에서 표현되나 잘 알려져 있지는 않다.

여러 가지 B thioesterase는 medium-chain 기질로서 유채에서도 표현이 되고 있다. 기름은 8:0, 10:0과 14:0을 포함하게 되고, 상당량이 이들 지방산과 여러 가지 형태로 결합되어 있다. 예로서, *Cupea hookeriana*로부터 thioesterase Ch FatB2의 표현은 식물체 기름속에 8:0과 10:0이 풍부하게 되고, 유채기름이 10 mol% 8:0과 25 mol% 10:0을 포함하는 것을 생산할 수 있게 된다. 또 다른 B thioesterase의 표현은 40 mol% 14:0을 포함하는 유채를 생산할 수 있다. Medium-chain의 양에 대한 개량은 가장 바람직한 계통을 육종과 선발을 통하여 개발할 수 있게 한다. 이러한 지방산과 좋은 반응을 보이는 TAGs는 음식재료, 제약과 윤활유 공업에 다양화를 추구하는데 참여가 가능하다.

④ ALTERED SATURATION

많은 양질의 음식과 건강에 좋은 기름의 개량은 포화(saturated)/불포화(unsaturated) 지방산의 변경된 비율에 따라 개발이 가능하다. 예로서 아주 포화상태인(high-stearic)기름으로부터 고체상의 glyceride는 아주 바람직한 기능을 가질 수 있으며, trans 지방산은 포함하지 않고, 수소화된(hydrogenated) 지방보다 더 낮은 콜레스테롤을 갖는다. 증가와 감소의 중요한 변경 및 포화 정도는 stearoyl-ACP desaturase 활력의 수준을 조정하는데 따라 달라진다. 이러한 효소는 지방산 생합성이 이

Table 5. Seed fatty acyl composition of 'laurate Canola' and canola seed

Fatty acyl group	Composition (wt %)	
	laurate canola	Canola
C 12:0 ²	40.0	0.0
C 14:0	3.9	0.0
C 16:0	2.9	6.2
C 18:0	1.1	1.6
C 18:1	29.8	60.8
C 18:2	13.3	9.2
C 18:3	6.8	9.2
C 20:0	0.3	0.3
C 20:1	0.6	0.9

² fatty acids: 12:0 = lauric, 14:0 = myristic, 16:0 = palmitic, 18:0 = stearic, 18:1 n-9 = oleic, 18:2 n-6 = linoleic, 18:3 n-3 = linolenic, 20:1 n-9 = eicosenoic, 22:1 n-9 = erucic acid

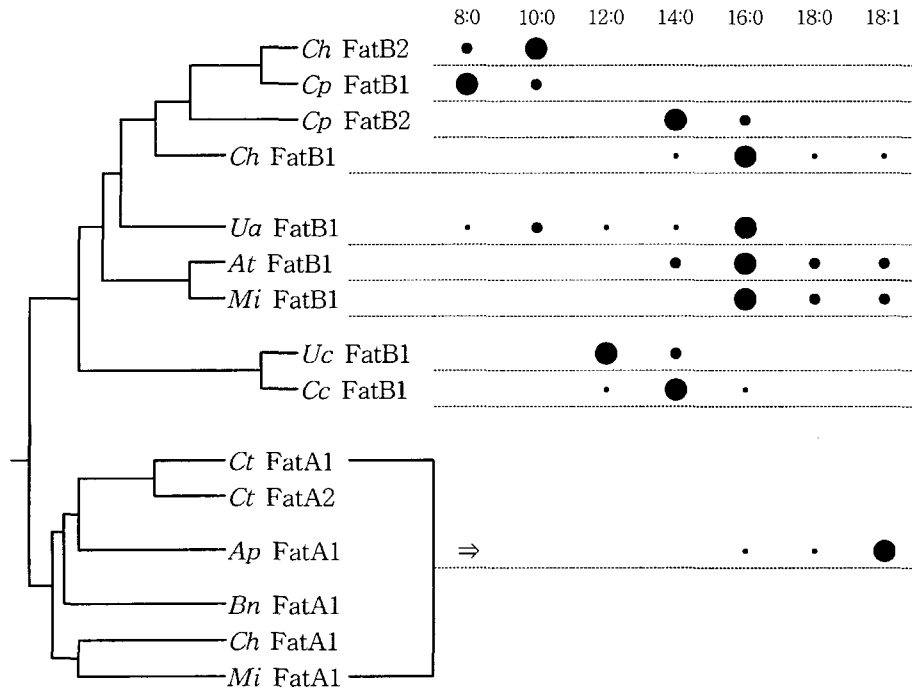


Fig. 1. Example of homologous, higher plant, acyl-ACP thioesterases. The left-hand side of the figure shows a phylogenetic tree of some of the acyl-ACP thioesterases cloned to date, constructed from an alignment of aminoacid sequences. The right-hand diagram summarizes the substrate specificities of the corresponding enzyme activities, semi-quantitatively. The activity on each acyl-ACP substrate is represented by a dot below the corresponding substrate acyl group (8 : 0 through to 18:1), and the diameter of the dot is an approximate indication of relative activity. The source of these thioesterases are as follows: Ap, *Allium porrum* (leek); At, *Arabidopsis thaliana*; Bn, *Brassica napus* (rapeseed); Cc, *Cinnamomum camphora* (camphor); Ch, *Cuphea hookeriana*; Cp, *Cuphea palustris*; Ct, *Carthamus tinctorius* (safflower); Mi, *Mangifera indica* (Mango); Ua, *Ulmus americana* (elm); Uc, *Umbellularia californica* (California bay).

루어지면서 stearyl-ACP로부터 oleoyl-ACP가 형성될 때 맨처음의 탈포화(desaturation) 반응에 관여한다. safflower(잇꽃)의 stearyl-ACP desaturase 유전자로 형질전환에 의해서 canola에 활력을 더 증가시키면 포화도가 약 2%에서 1% 정도로 줄어든다. 유채에서 desaturase 유전자가 역으로 발현되는 것은 원래의 활력을 줄이는 반감작용을 하여 기름내에 stearate(18:0)의 양을 40%까지 증가케 한다.

Stearate의 상승을 위한 또 다른 전략은 기름내에서 18:1-ACP를 실행케하는 효소보다 18:0-ACP에 대한 활력을 높게 하는 acyl-ACP thioesterase를 발현하게 하는 것이다. J. Kridl와 동료들이 mangosteen(*Garcinia mangostana*)로부터 thioesterase가 되는 유전자를 cloning하여, stearate가 50% 포함되어 있는 종자를 얻었다. Canola에서 이러한 유전자의 표현은 기름에 20%의 stearic이 포함될 수 있다. 이러한 형질전환 계통은 antisense desaturase로 표현하는 특성과 결합되어 있다.

⑤ HIGH-ERUCIC OIL

공업용 윤활유 제조에 쓰이는 기름에서 erucic acid(22:1)가 유채의 여러 가지 품종들에서 high-erucic acid rapeseed (HEAR)을 갖는 품종을 얻게됐다. 이러한 TAGs가 결합된 erucoyl은 sn-2 위치에 남아있으며, 이 조성의 한계를 극복하

는 것에 의해서 장래에 erucate 수준을 올리는 것이 가능하다. 그러한 기름은 erucoyl 잔존물의 더 많은 생산의 재원으로서 역할을 할 뿐만 아니라 특수한 입상의 적용을 위한 trierucin을 제공할 수 있다. Calgene사의 Lassner와 Metz 등의 동료들은 두가지 평형의 방법하에서 이 목적에 접근하였다. 첫 번째는 jojoba로부터 ketoacyl-CoA synthase(KCS)로 불리는 세포질의 fatty acyl 신장체계를 개시하는 반응에 책임을지는 유전자를 cloning하였다. 그것의 본래 종에서, 이 체계는 저장된 wax ester에서 우세한 C20, C22 및 C24 acyl 집단을 생산하는 elongase 체계의 일부분이다. Canola에 이 유전자를 도입하게되면 이러한 very long-chain fatty acid(VLCFAs)와 같은 acyl 집단의 58%가 상화하는 TAGs의 생산이 가능하다. 이전의 연구에서는 세포질의 fatty acyl 신장체계에 결합가 HEAR에 관련한 canola에 VLCFAs의 부재를 갖게한다는 것을 제시하였다. 결론적으로 이러한 형질전환은 대사적 결합가 KCS기능의 부재로 나타내지는 것을 보여준 것이다. KCS 유전자는 HEAR로부터 유사한 유전자를 분리하여HEAR이 40-45%보다 더 높은 erucate를 얻는데 있어서 발현되게 하는데 쓰여진다.

두 번째 전략은 또다른 특수화된 LPAAT의 도입에 의해서

sn-2 위치에서 제한을 제대로 하도록 하는 것이다. Lassner 등은 meadowfoam 식물(*Limnanthes alba*)로부터 *erucate*를 선호하는 LPAAT를 위한 유전자를 cloning하였다. HEAR 계통에 이 유전자를 도입하여 TAGs의 *sn-2* 위치에 *erucyl* 잔존물의 합동을 초래하게 되고, 결과적으로 기름내에는 *trierucin*의 양을 더 많이 함유케 한다. 이러한 특별화된 KCS와 LPAAT 효소를 위한 유전자들은 새로운 super-*erucic* 유체계통을 만드는 배경이 될 수 있다.

⑥ ALCOHOLS AND WAX ESTERS

위의 모든 결과는 유채 TAGs의 fatty acyl 조성을 변경하는 것과 관련이 지어진다. 보다 더 야심적인 식물은 또 다른 바람직한 지질을 갖는 TAGs로 대체되는데, *jojoba* 종자에서 찾아볼 수 있는 공업용에 적용이 되는 wax ester가 그것이다. 이것은 very-long-chain fatty acids(VLCFAs)의 생산에 요구되고, long-chain alcohol에 VLCFA-CoA의 부분이 줄어드는 것이며, 이들 alcohol들이 wax ester 형태로 VLCFA-CoAs의 더 많이 갖도록 축압되는 것이다. Lassner, Metz와 그들 동료들이 alcohol 일부의 형성과 HEAR에 유전자를 발현하는 것에 책임이 있는 *jojoba*의 acyl-CoA reductase를 cloning하였다. 기름종자안에 acyl 집단의 약 4%가 alcohol 집단에서 줄어드는 것이다. wax esters가 기름종자 무게의 약 8%를 alcohol에서 ester화하는 효소는 아직 특징적인 것이 없지만, ester 형성을 증진하는 wax synthase를 *jojoba*로부터 cloning을 추진 중에 있다.

Trierucin을 목표로한 기름작물의 저장 지질의 bioassembly

식물생명공학의 기름종자 변형 프로젝트의 방대한 목표는 DNA재조합 공학을 통하여, 통상의 고전육종방법에 의해서 얻을 수 없는 특별히 설계된 기름종자를 생산할 수 있는 능력을 갖는 새로운 품종을 개발하는 것이다. 그와 같은 모델로서 우리는 *erucic acid*(22:1, *cis*-13-docosenoic acid)가 많이 함유된 *Brassica napus*와 very long chain fatty acid(VLCFAs)를 만들기 위해 유전적으로 변형시키는 것에 관심을 갖는다. VLCFAs는 계면활성제, 가스제 및 표면피복제의 생산을 위한 공업원료로, 고온의 유탄유로 가치가 있고, adrenolekodystroohy에 가장 바람직한 처리로서 쓰여진다. 1차적인 high-*erucic* 기름은 *erucamide*의 생산에 쓰이며, plastic film의 제조에 anti-block처리제로서 이용된다. 진실로, C22 oleochemicals *erucic acid*, *behenic acid*(22:0, *docosanoic acid*)와 그들의 파생물은 21세기를 위한 공업원료가 될 수 있다.

VLCFAs를 포함하는 triacylglycerols(TAGs)의 생물집합체를 조정하는 연구는 (1) *erucic acid*와 같은 VLCFAs는 기름종자들이 발육하는데 중성지질(triacylglycerol) 조각들이 확정되는 것이고, 막(phospho- 또는 glyco-)지질의 조성이 아니며; (2) 22:1은 TAG assembly에서 특별한 생화학적 기작을 연구하는

데 가장 우수한 종자 저장지질 표식인자이다; (3) VLCFAs의 증가된 수준에 기른 종자의 분자-유전적 변형은 TAG-특성이 될 수 있고, 막지질 대사의 어떤 잠재적-치사적 간섭을 회피할 수 있는 것이다. 또한 생화학적, 분자-유전학적 결합이 기름종자로부터 두 가지 목표 유전자를 동정하는데 써왔고, 분리하여 *B. napus*에 형질전환적으로 발현된, 전략적인 VLCFAs가 기름종자에 높게 포함되도록 유도하는 것이다. 첫 번째 도전은 *Brassica* 종들 안에 lyso-phosphatidic acid acyltransferase 또는 LPAT가 glycerol backbone안에 중간위치(*sn-2*)에 *erucic acid*가 삽입될 수 없다. 그러나, 다른 식물 종들은 이러한 기능을 소유하고, 이러한 능력을 *B. napus*에 주어서 유전자 회복과 형질전환의 발현을 위한 목표가 된다. 그것은 저장 기름안에 편입을 위하여 이러한 fatty acid의 적당한 수준을 제공하여 VLCFA 생합성을 위한 능력을 증가시킬 필요가 있을 수 있다. 두 번째 목표는 fatty acyl 전구물질인 C18을 계속해서 신장되도록해서 VLCFAs를 만드는 'elongase'체계이다.

① BIOASSEMBLY OF TAGS CONTAINING VLCFAs IN BRASSICA NAPUS L.: THE MICROSPORE-DERIVED EMBRYO MODEL SYSTEM

B. napus L.에서 찾아볼 수 있는 TAGs와 다른 *Brassicaceae*의 기름종자들이 가지고 있는 acyl 조성들이 있다. *eicosenoic* (20:1)와 *erucic*(22:1)과 같은 VLCFAs는 *sn-1*과 *sn-2* 위치에서 에스테르화 되지만, *sn-2* 위치에서만 단독으로는 에스테르화를 하지 못한다. *sn-2* 위치에서는 *oleic*(18:1)와 같은 C18 fatty acid를 에스테르화한다. 고등식물에서 받아들여진 C16과 C18 fatty acyl 일부분은 Kennedy에 의해서 제안된 G-3-P(glycerol-3-phosphate) pathway를 경유하여 TAGs로 병합된다. 최근까지, VLCFAs를 포함하는 TAGs의 생합성에 포함되는 그 기작은 완전히 이해가 되지 못하였다. 1차적으로 그 어려움이 전형적인 대사연구에서, 동위원소화된 *erucic acid*나 *erucoyl-CoA*들이 기내에서 접합체 胚가 되는 발육과정에서 아주 빈약하게 대사가 이루어진다는 점이다.

접합체 배에서 대조적으로, 소포자유래(microspore-derived, MD) 배(胚)는 반수체이고, 이들이 분화되는데, 그 이름이 함축하듯이, 미성숙 수컷 소포자이다. 조직배양 기술을 통하여, 소포자들은 수정된 종자에서 접합된 배가 발육하는 것과 비슷하게 배발생이 재현된다. 특별히, 아주 높은 *erucic acid* 품종인 Reaton에서 MD 배는 같은 품종의 접합체 배가 발육하는 것과 같은 방식으로 TAGs내에 22:1과 같은 VLCFAs가 축적되는 것을 볼 수 있었다. 더 중요하게, 최근의 연구들은 Reston MD 배체계는 활발하게 대사를 수행하면서, 기내에서 TAGs내에 동위원소화된 *erucoyl* 일부분이 병합되고 있음을 밝혔다. MD 배체계가 TAG bioassembly를 위하여 필요한 효소의 모두를 소유하고 있다는 것을 알 수 있게 하였다.

첫 번째 단계에서 이러한 체계를 증명하려고 시도하였다. *B. napus*에서 *sn-1*과 *sn-3* 양쪽 위치에서 *erucoyl* 일부를 포함하고

있는 TAGs acyl 공여체로서 erucoyl-CoA와 최초의 acceptor로서 G-3-P를 갖는 Kennedy Pathway를 경유하여 생집합물이 된다. 더욱이, 이 기작은 친밀하게 연결되어 있으며, 대사적 통로를 경유하는 것이고, 평형이 줄어들면서 malonyl-CoA의 존재하에 두 개의 탄소가 팽창하여 oleoyl-CoA로부터 VLCFA 생합성이 유도된다. ¹⁴C very long chain acyl-CoA는 기내에서 합성이 되며, 그들은 G-3-P의 glycerol backbone에 합쳐지며, LPA, PA, DAG들이 매개하는 Kennedy pathway에서 TAGs를 축적하게 된다. 외생(exogenous)의 G-3-P의 부재는 모든 glycerolipid안에서 새롭게 합성되는 VLCFAs의 병합이 줄어들게 된다 그러나, TAGs는 very long chain acyl-CoAs의 새로운 합성을 수반하고, 최초의 acyl 수락자로서 G-3-P의 역할을 지지한다. VLCFAs를 포함하는 TAGs의 생집합체를 위한 기작으로서 Kennedy pathway는 *B. napus*의 Reston 품종의 접합된 배에 확정되어 있으며, 다른 십자화과에서도 본 연구내용과 비슷한 생합성 체계를 갖는다. ¹⁴C oleoyl-CoA나 ¹⁴C 20:1-CoA로부터 VLCFA 생합성이 이루어지는데에 따른 Reston 품종의 MD 배체계에 의해서 기내에서 생합성된 TAGs의 입체적(stereospecific)인 분석은 동위원소화된 erucoyl 일부분이 sn-1과 sn-3 위치에서 병합되고, sn-2에서는 이루어지지 않는다는 것을 보여준다. 이러한 모형은 MD와 접합체

Reston 품종의 배 양자의 내생의 TAGs가 비슷하다는 것이다. 더욱이, 유채(*B. napus*)는 sn-2 위치에 erucoyl 일부분이 자리잡을 수 있는 효소적 능력이 결여되어 있음을 알 수 있으며, 유채에 erucic acid 양이 2/3 또는 66 mol%로 제한이 된다는 것을 지적하는 것이다. 최근에 Manitobacogkr에서 육종을 시도한 결과 hugh erucic acid인 56% 22:1의 육성에 성공하였다.

② ENZYME TARGETS FOR MANIPULATION OF VLCFA LEVELS IN *B. NAPUS*

(i) Lyso-Phosphatidic Acid Acyltransferase(LPAT)

High-erucic acid인 *B. napus*는 그것의 종자 기름안의 sn-2 위치에 erucoyl 일부분을 갖지 않으며, trierucin을 내포하지도 않는다. 그러나, 자연계에 어떤 종들은 sn-2 위치에 중요한 부분의 erucic acid를 갖기도 한다. Nasturtium(早蓮)(*Tropaeolum majus*)의 종자는 sn-2 위치에 대략 1/3이 에스터화된 75% erucic acid를 포함하고 있다. 더욱이, trierucin은 nasturtium에서 아주 주된 TAGs 중들이며, 성숙한 종자로부터 TAG 조각을 분리하여 mass spectrometry로 직접 탐침하였다. 아마도 sn-2 erucoyl 특수성 발현의 가장 좋은 예는 meadowfoam(*Limnanthes douglasii*)에서 볼 수 있는데 sn-2 위치에서 erucic acid의 2/3가 들어있다.

Meadowfoam 종에서 sn-2 위치에서 erucic acid의 축적은

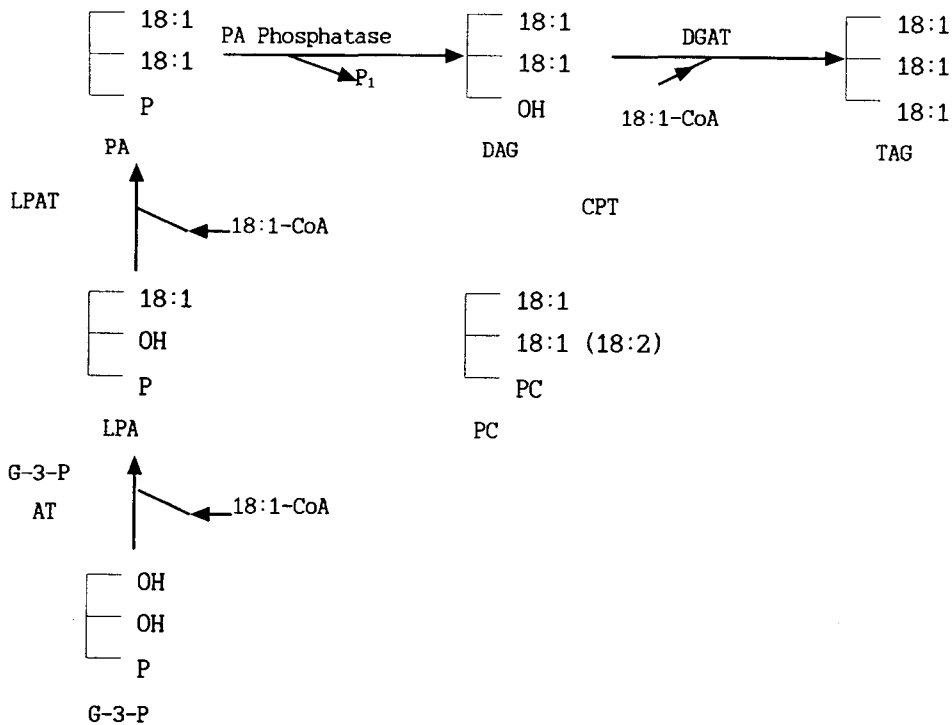


Fig. 2. Scheme for triacylglycerol bioassembly (Kennedy) pathway in developing oilseeds. 18:1-CoA, oleoyl-coenzyme A; 18:2, linoleic acid; G-3-P, glycerol-3-phosphate; G-3-PAT, glycerol-3-phosphate acyltransferase; LPA, lyso-phosphatidic acid; LPAT, lyso-phosphatidic acid acyltransferase; PA, phosphatidic acid; DAG, diacylglycerol; DGAT, diacylglycerol acyltransferase; TAG, triacylglycerol; CPT, sn-1,2-diacylglycerol cholinephosphotransferase. After desaturation on the PC backbone, polyunsaturated C18 fatty acids can enter the acyl-CoA pool via the enzyme acyl-CoA: lyso-phosphatidylcholine acyltransferase (not shown).

lyso-phosphatidic acid acyltransferase(LPAT)의 높은 erucoyl-CoA 특수화에 원인이 있다. Meadowfoam으로부터 동생발생체 또는 미립자내에 22:1-CoA:LPAT 활력이 *B. napus*에서 마주치는 활력보다 50-100배 더 크다. 그러나, meadowfoam과 유채의 18:1-CoA:LPAT 활력은 거의 비슷하다.

Meadowfoam으로부터 erucoyl-specific LPAT를 encoding(암호화)하는 유전자를 특정지어서 분리해내려고 두가지로 접근하였다. 첫째는 발육하고 있는 *Limnanthes douglasii* 종자로부터 cDNA library를 만들기 위해 oligonucleotide probe(microsequencing 후에 설계된)나 항생제의 이용에 의하여 여러 가지 발육하고 있는 기름종자로부터 LPATs의 정제와 분리를 포함한 생화학적 접근이다. 첫 번째 단계에서 효소를 정제하는 것은 단백질과 관련된 기부세포의 파편을 찾는 것이다. Meadowfoam 으로부터 erucoyl-CoA specific LPAT는, 외부의 원형질체를 10,000×g pellet 조각에 풍부하였으며, 동일발생에서 측정된 전체 활력의 95%를 차지한다. 두 번째는 더 최근에 접근방법인데, 기름종자 LPAT 유전자를 encoding하기 위해 *E. coli*의 LPAT가 결여된 돌연변이체를 기대하는 것이 Meadowfoam LPAT 유전자에 관심을 갖는 것은, trierucin을 생산할 수 있도록 유채에 형질전환시키고자 하는 것이다. 최근에 생화학적 증거가 두가지 나오게 되었는데, (1) meadowfoam LPAT는 22:1-lyso-phosphatidic acid(22:1-LPA)를 인식하고, sn-2 위치에 erucic acid를 삽입한다. 22:1-LPA가 *B. napus*에서 VLCFAs를 포함하는 TAGs의 생집합체에 중간매체 역할을 하는 것으로 보여진다. (2) 기내 실험에서 meadowfoam LPAT를 *B. napus*에 형질전환을 자극하는 설계를 수행하였는데, *B. napus* MD 배로부터 소립자나 동일물질은 14C erucoyl-CoA와 비토착의 1,2-dierucin.을 제공하였다. 이러한 조건하에서, ¹⁴C 표식된 trierucin은 *B. napus* 체계에 의해서 생산이 되었으며, 1,2-diacylglycerol acyltransferase(DGAT)가 sn-1과 sn-2 양쪽 위치에서 22:1인 diacylglycerol로 이용될 수 있는 능력이 있었다. 더욱이, *B. napus*의 MD 胚안에 DGAT는 기내에서 5 μM 이상의 oleoyl-CoA를 넘어서 erucoyl-

CoA로 더 특수화되는 것을 보여주고 있다.

(ii) Elongase

TAG 생물적집합을 위한 공급이 제한을 받게되면, meadowfoam LPAT를 갖는 *B. napus*의 형질전환을 목표로하여, 11ck 적으로 erucoyl 부분에 재분배된 충분한 trierucin의 축적을 가져오게 한다. 형질전환된 *B. napus*에 VLCFA 수준을 조정할 수 있도록 하기 위하여, 두 번째 목표인 oleoyl-CoA로부터 VLCFA 생합성을 위하여 책임을 맡도록 elongase를 암호화(encoding)하는 유전자이다.

이러한 유전자를 획득하기 위한 접근이 분자유전학의 하나이다. VLCFA 생합성이 조그마한 십자화과인 *Arabidopsis thaliana*에 결여된 돌연변이체를 분리하여, elongase 유전자가 돌연변이에 의해서 표식이 되도록 결정된 변이체의 특징이 되며 chromosome walking의 기술을 이용하여 이 유전자를 cloning한다. 이러한 기술은 *A. thaliana*가 가장 작은 고등식물의 genome(100,000kb)을 가지고 있고, 거의 극소량의 반복적인 DNA를 소유하기에 잇점이 있다.

EMS를 처리한 *A. thaliana*의 집단들은 GC에 의해서 검토하여 종자내에 지질의 VLCFA 양이 안정된 유전적 변화로 독립된 여섯개의 돌연변이체를 선발하였다. 이들 중에서, 네 개의 돌연변이체는 20:1이 1% 이하로 포함되어 있고(야생형 종자는 20:1이 18% 함유), 20:0이 줄어들었으며, 22:1은 파악되지 않았다. 유전적인 분석은 이들 네 개의 돌연변이체는 fatty acid 조성에 변화가 있었음을 보여주는데 똑같은 핵의 위치, FAE1에서 돌연변이가 일어났음을 말해준다. 부언하여, 이들 AC56으로 표기한 VLCFA 변이체의 하나와 야생형간 정역 교잡한 F1 후대에서 VLCFA 수준이 야생형과 돌연변이체의 중간 수준을 나타내었다. 이러한 불완전한 우성은 elongase의 유용한 유전자 생산, elongation을 제한, VLCFA 생합성이 약간은 바람직할 수도 있음을 보여준다. 기내에서 AC56의 생화학적인 특성화는 돌연변이체와 가까운 야생형에서도 들어나는데 ¹⁴C 18:1-CoA로부터 ¹⁴C 표식된 20:1, ¹⁴C 20:1-CoA로부터 ¹⁴C 22:1, ¹⁴C 18:0-CoA로부터 ¹⁴C 22:1을 생합성하는 능력이 결여되어, malonyl-CoA의 존재는 균형이 깨지고 있다.

FAE1 유전자는 *A. thaliana*안에서 모든 VLCFAs의 합성을 포함하고 있으며, 따라서 FAE1 유전자를 chromosome walking에 의해서 분리하여 선택할 수 있다. FAE1 유전자좌에서 chromosome walking을 준비하여, 그것의 위치가 cer2와 ap2의 형태적인 표식자에 의해서 둘러싸여 있는 chromosome 4에 지도화 되게하였다. 그 다음단계에서, 적당한 RFLP marker화된 mapping을 분해토록하는 것이다. elongase 유전자와 가장 밀접한 RFLP는 chromosome walking에 대한 시작을 알리는 것이다.

*Arabidopsis*로부터 elongase 유전자를 분리하여, *B. napus* 안에 이에 상응되는 유전자를 분리하여 탐침(probe)하였다.

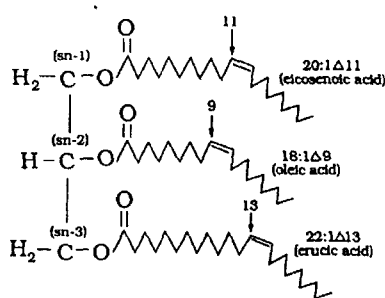


Fig. 3. Structure of a triacylglycerol typical of that found in the Brassicaceae (e.g. *B. napus*), including the stereochemically-distinct sn-1, sn-2 and sn-3 positions. Erucic acid (22:1) can be esterified at both the sn-1 and sn-3 positions, but is virtually excluded from the sn-2 position.

Table 6. Industrial uses of trierucin, erucic acid, and derivatives.

	Industrial uses
Trierucin	Pharmaceuticals, lubricants, waxes, heat transfer fluids, dielectric fluids
Erucic acid	Erucamide: slip agent, plasticizers Amines : surfactants, antistats, flotation agent, corrosion inhibitors
Behenic acid	Antifriction coatings, mold release agents, flow improvers, mixing and processing aids
Erucyl alcohol	Surfactants, slip and coating sgents
Behenyl alcohol	Surfactants, slip and coating sgents
Wax esters	Lubricants, cosmetics
Brassylic acid	Nylon, perfumes, plasticizers, polyesters, synthetic lubricants, paints and coatings
Pelargonic acid	Plasticizers, plastics, coatings, flavors, perfumes, cosmetics

VLCFA생합성을 위한 elongase 기능의 과도한 발현은 meadowfoam LAPT 공급을 위하여 형질전환된 *B. napus*내에 충분한 trierucin을 생산하는데 요구된다.

결론적으로 Reston 품종의 MD embryo model 체계를 이용하는 것은, VLCFAs를 포함하는 TAGs가 high erucic acid를 함유한 *B. napus*를 만들도록하는 기작을 위한 생화학적 기본을 설정하는 것이다. 생물공학기법을 이용한 유체의 변형은 ultra-high erucic acid 기름종자를 생산할 수 있는 기회를 부여하게 된다. 두가지 목표 효소인 meadowfoam LAPT와 *B. napus* elongase를 암호화한 유전자의 발현을 위한 형질전환과 전환체의 분리는 생화학, 유전학, 분자생물학에 관련된 기술에서 세울 수 있는 전략이다. 이러한 목표 유전자가 형질전환되어 *B. napus*의 유전자원이 되면 식물 육종의 노력을 통하여 대략 66 mol%에 접근하는 최대의 erucic acid를 갖는 품종도 개발이 가능하다.

4) Biodiesel Production of Rapeseed Oil

Biodiesel은 diesel 연료와 혼합하거나 식물성기름 단독의 연료로서 쓰일 수 있다. 30% biodiesel과 70% diesel의 혼합비율이 가장 좋으며, 공기정화가 요구되는 대도시에서 특히 바람직하다. 왜냐하면 아산화질소를 포함한 공해요인을 줄일 수 있기 때문이다. Biodiesel의 생산 비용은 litre당 0.15~0.51\$ (gallon당 0.56~1.95\$)이며, biodiesel의 경제적인 가치에 영향을 미치는 가장 중요한 요인은 기름수량이다. 환경에 미치는 효과는 황(sulphur)의 방출이 거의 없고, 연소할 때 일산화탄소와 탄화수소의 방출을 줄일 수 있다. 연료로서 식물성 기름을 사용할 때 환경에 주는 영향을 보면, 가스과 입자의 방출은 식물성 기름을 연료로 사용하여 줄일 수 있다. 그러한 연료는 천연그대로의 cycle(식물이 성장과 발육을 하기 위한 CO₂의 축적 등)을 지니며, 탄소방출의 산화된 것을 거의 흡수하게 된다. 식물성기름은 쏟아질 경우에 더 환경과 친화적이고, 연료

Table 7. Typical fuel properties of a raw rapeseed oil and methyl and ethyl esters of rapeseed oil in comparison with No. 2 diesel.

Properties	Raw rapeseed	Methyl ester	Ethyl ester	Diesel
Heat of combustion btu/lb (gross)	17,370	17,506	17,500	19,652
Flash point(°F)	525	338	365	176
Cloud point(°F)	12	26	30	7
Pour point(°F)	5	6	-5	-18
Viscosity(cs) @ 104°F	46.7	5.7	6.1	3.51
Sulfur (% wt)	0.022	less than 0.001	0.008	0.36
Density (lb/gal) @ 70°F	7.57	7.20	7.31	7.07

가 잘 생분해되고, 빠르게 사라지며, 토양과 물을 오염시키는 잔류기간이 짧아 오랫동안 피해를 주는 것을 막을 수 있다. Methanol 대신에 alcohol로서 ethanol을 쓰기 위한 유체기름의 ester화는 ethanol과 식물성기름은 환경 친화적이고, 재생산이 가능하고, ethyl과 methyl ester는 비슷한 성격의 연료이며, ethanol은 methanol보다 다루기가 안전하므로, 폭발로부터 독성의 연무가 생기는 것을 줄이는 효과가 있다. 현재 biodiesel을 상업화한 국가에서 biodiesel의 생산은 liquid의 4.2BTU's보다 더 높은 효과가 있다. 생산비용은 유체의 가격, 종자로부터 기름을 추출하고 남은 粕의 가치, glycerol의 가치, alcohol의 가격, 생산에 대한 정부의 정책, 유체연구 및 보조금에 달려있다.

앞으로의 전망

기름작물인 유채는 식물성 식용유, 가축의 농후사료로서 가장 중요한 자원이다. 이것은 공업산물의 폭넓은 범위에서 천연재료를 제공하는 목적의 비식용 자원이기도하다.

Low-glucosinolate, low-erucic 품종인 'canola' 유채(*Brassica napus*)는 세계의 주요 식물성기름의 재원의 하나가 되었다. 음식과 사료이용의 가치는 바람직한 특성인 기름함량을 증가시키고, 섬유소함량이나 영양분이 아닌 화합물의 바람직하지 않은 특성을 줄이므로서 향상이 될 것이다. 공업유의 제조와 비식품의 목적을 위한 high-erucic acid, low-glucosinolate 품종이나 laurate 품종이 등장하였다.

고전육종과 결합된 생물공학적인 접근은 새로운 바람직한 형질을 소유한 품종과 중간모본을 육성하는데 doubled-haploid 계통의 육성, 중간교잡, 분자표지인자 기술과 같은 폭넓은 방법이 제공된다. 그러나, 장래의 유체품질의 조정은 유전공학의 도움 없이는 만족도를 높일 수 없을 것이다. 새로운 형질을 갖는 유채품종들이 포장시험에서 평가가 이루어지고, 교잡육종(hybrid breeding)에 대한 화분조절 체계, 제조제지향성, 변형된 종자품질등 많은 다른 결과들이 소개되고 있다. 소위 관

행의 고전육종과 현대적인 방법이 장래의 유채 육종에 시너지 효과를 갖도록 이용되어질 것이다.

참고문헌

- Bhardwaj, HL, Hamama AA, Porter DM, and Reese Jr. PF. 1996. Rapeseed meal as a natural pesticide. p. 615-619. In: J. Janick (ed.). Progress in new crops. ASHS Press, Arlington, VA.
- Cramer, N. 1990. Raps Zuchtung-Anbau and Vermarktung von Kormerraps. Ulmer, Stuttgart.
- Davies, HM.. 1996. Engineering new oilseed crops from rapeseed. p. 299-306. In: J Janick (ed.). Progress in new crops. ASHS Press, Alexandria, VA.
- FAO production yearbook. 2001. FAO on line statistics, <http://www.fao.org/>
- Frandsen, KJ. 1943. The experimental formation of *Brassica juncea* Czern. et. Coss. *Dansk Bot. Arkiv* 11(4) : 1-17.
- Frandsen, KJ. 1947. (Plant Breeding Sta., Taastrup, Denmark) The experimental formation of *Brassica napus* L. var. *oleifera* DC. and *Brassica carinata* Braun. *Dansk Bot. Arkiv*. 12(7):1-16
- Hauman, BF. 1988. Update: fats and oils industry changes. *J. Amer. Soc.* 65: 702-713.
- Hedge, IC. 1976. A systematic and geographical survey of the world *cruciferae*, p. 1-45. In: J.G. Vaughan, A.J. MacLeod and B.M.G. Jones (eds). The biology and chemistry of *Cruciferae*. Academic Press, New York.
- Heidker, J, Klopfenstein CF. 1990. High glucosinolate rapeseed meal as a supplemental protein source in finishing cattle diets. p. 229. In: J Janick and JE Simon (eds.), *Advances in new crops*. Timber Press, Portland, OR.
- Morinaga, T. 1934. Interspecific hybridization in *Brassica*. The cytology of F₁ hybrids of *B. juncea* and *B. nigra*. *Cytologia* 6(1) : 62-67.
- Ohlson, R. 1972. Production and trade in rapeseed. p. 9-35. In: L.A. Appelquist and R. Ohlson (eds) *Rapeseed*. Elsevier Publishing Co., New York.
- Prakash, S. 1980. *Cruciferous* oilseeds in India, p. 151-163. In: S. Tsunoda, K. Hinata, and C. Gomez-Campo (eds.). *Brassica* crops and wild allies. Biology and Breeding. Japan Scient. Soc. Press, Tokyo.
- Robbelen, G. 1960. Beitrage zur Analyse des *Brassica*-Genoms. *Chromosoma* 11:205-228.
- Sovero, M. 1993. Rapeseed, a new oilseed crop for the United States. P. 302-307. In: J. Janick and J.E. Simon(eds.), *New crops*. Wiley, New York.
- Taylor, DC, Kunst L, Mackenzie SL. 1993. Bioassembly of storage lipids in oilseed crops; Target: Trierucin. p. 181-191. In: J. Janick and JE Simon (eds.), *New crops*. Wiley, New York.
- U, N. 1935. Genome analysis in *Brissica* with special reference to the experimental foemation of *Brassica napus* and peculiar mode of fertilization. *Japan. J. Bot.* 7:389-452.
- Williams, PH. 1990. *Cruciferous* oilseeds. p. 228. In: J. Janick and J. E. Simon (eds.). *Advances in new crops*.
- Yan, Z. 1990. Overview of rapeseed production and research in China. *Proc. Int. Canola Conf. Potash & Phosphate Institute, Atlanta.* p. 29-35.