Journal of Radiation Industry 7 (2~3) : 101~108 (2013)

방사선 조사에 의한 유채 M_6～M_7세대 변이계통의 특성

김 준 수 · 은 종 선*

전북대학교 농업생명과학대학 원예학과

Characteristics of Mutant Lines through M_6 to M_7 Generation Induced by Radiation in Rapeseed (*Brassica napus* L.)

Jun-Su Kim and Jong-Seon Eun*

Department of Horticulture, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

Abstract - To develop new varieties of rapeseed (*Brassica napus* L.), the seeds of three varieties, 'Naehan', 'Tammi', and 'Halla' were irradiated with proton ion beams and gamma rays with 0 to 2,000 Gy. We had selected 9 lines in M_5 generation, and their useful characteristics were investigated by progressing from M_6 to M_7 generation for checking uniformity and stability. The 9 lines selected in M_5 generation were maintained their characteristics in terms of flowering date, maturing date, and plant height through M_6 to M_7 generations. Especially, 2 lines of NP600-1-1-198-2-1 and NP1000-13-2-362-4-1 selected in M_5 generation derived from 'Naehan' had characteristics of early maturity and shorter stem than original variety, and they also were maintained characteristic of early maturity such as 10～11 days earlier flowering date and 6～9 days earlier maturing date through M_6 to M_7 generations. For stem length, they showed characteristics of shorter stem in 2 lines of NP600-1-1-198-2-1 line and NP1000-13-2-362-4-1 line about 16%, 25% shorter stem than original variety respectively through M_6 to M_7 generations. Furthermore, some characteristics of 2 lines compared to the original variety were similar or higher in weight of 1,000 seeds, number of branches per plant, number of siliqua per panicle, number of seeds per silique, oil contents, and oleic acid contents. The line with large and plump flowers selected in M_5 generation also showed large and dark yellow flowers through M_6 to M_7 generations. The lines with High oleic acid and low saturated fatty acid contents selected in M_5 generation were maintained characteristics through M_6 to M_7 generation and these useful characteristics were expected for developing a new variety for bio diesel uses.

Key words : Early maturity, Oleic acid, Original variety, Stability, Uniformity

서 론

유채 (*Brassica napus* L.)의 꽃은 다른 십자화과 식물에 비해 크고 탐스러워 관상용으로 관광자원화가 가능하며 꿀과 화분이 많아 밀원으로서도 부가가치가 매우 높다 (Kim *et al*. 2007). 또한 종자에는 기름 함량이 35～45% 함유되어 있어 양질유는 식용, 샐러드용, 바이오디젤용으로, 저급유는 공업용으로 이용하고 있다. 이와 같은 유용성 때문에 유채의 품종개량은 오래전부터 이루어져 왔

* Corresponding author: Jong-Seon Eun, Tel. +82-63-270-2576, Fax. +82-63-270-2581, E-mail. jseun@jbnu.ac.kr

으며, 우리나라에서는 1964년 도입품종 선발을 시작으로 1980년대까지는 주로 유채기름을 식용으로 섭취할 때 문제가 되는 erucic acid 함량을 줄이고 oleic acid 함량을 높였으며 유채의 박을 가축사료로 이용하는데 문제가 되는 glucosinolate 함량을 낮추는 양질 품종개량에 노력하였다(Bang *et al.* 1986; Lee *et al.* 1994). 또한 수량성과 재해저항성을 높이고자 웅성불임계통을 이용하여 생산성이 크게 증수된 1대잡종 품종을 육성하였다(Jang *et al.* 2002a, 2002b). 최근 화석연료 사용량의 가속화로 가용할 화석연료의 고갈이 예상되고 있으며, 이산화탄소 발생량의 증가로 인한 기후변화는 전 인류에 큰 영향을 미치고 있다(Jang *et al.* 2010). 따라서 조화롭고 지속 발전 가능한 에너지 및 환경보존을 위한 신·재생 대체에너지의 개발은 세계적 관심을 모으고 있으며(Wright 2006), 바이오에너지를 상용화하려는 각 나라별로 자국의 현실과 여건에 맞는 정책을 수립하여 추진하고 있다(Shrestha and Lee 2007; Bang *et al.* 2008). 우리나라는 바이오디젤을 생산하기 위해 가장 적합한 작물로 유채에 주목하고 있는데, 그 이유는 다수성인 유채의 1대잡종 품종이 개발되어 육종의 성과가 크고 겨울재배가 가능하여 작부체계가 유리하다는 점에 있으며(Jang *et al.* 2002c), 불포화지방산과 바이오디젤 원료에 적합한 oleic acid 함량이 다른 유지작물에 비해 높다고 알려져 있기 때문이다(Petukhov *et al.* 1999). 바이오디젤의 상용화에 있어 가장 중요한 부분의 하나가 경제성 확보이므로 원료작물인 유채의 단위면적당 수확량이 많고 지방함량이 높으며, 바이오디젤의 특성에 영향을 미치는 oleic acid 함량이 높은 품종 개발이 필요하다. 또한 벼와의 작부체계를 맞출 수 있는 조숙, 동시성숙성 등의 품종과 생력기계화 재배에 있어 도복을 방지할 수 있는 단간성 품종 등의 개발이 필요한 시점이다. 유채의 품종개발은 일반적으로 종간교잡(Burbulis and Kott 2004), 돌연변이 육종(Kwon *et al.* 1985), 웅성불임성을 이용한 1대잡종 생산(Kim *et al.* 2010), 소포자배양(Park *et al.* 2006) 등 여러 가지 방법이 있으나 돌연변이 육종은 교잡육종과 비교하여 기존에 없는 새로운 변이를 창출하고 이용한다는 점과 기존 품종의 우수한 형질은 그대로 유지하면서 단점 형질만을 단기간 내에 개량하기 위한 육종방법으로 알려져 있다(Cheong *et al.* 2004). 따라서 본 연구는 바이오디젤의 원료가 되는 유채의 신품종을 육성하고자 종자에 양성자와 감마선을 처리하여 M_5세대에서 유용형질을 갖는 변이계통을 선발하였으며, 각 변이계통들을 M_6～M_7세대까지 세대를 진전시켜 균일성과 안전성 등을 확인하고자 유용형질에 대하여 특성조사를 실시하였다.

재료 및 방법

1. 육성경과 (M_1～M_5세대)

농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물센터에서 육성한 유채 '내한', '탐미', '한라'의 3품종의 건조 종자에 양성자(한국원자력의학원 MC-50 Cyclotron 이용)와 감마선(한국원자력연구소 저준위조사시설 이용)을 각각 0～2,000 Gy 선량으로 처리하여 2005년 10월 상순 전북대학교 실험포장에 파종하고 총 10,300개체의 M_1세대를 육성하였다. M_2세대는 M_1세대의 화경별로 채종한 종자를 계통화하여 총 990계통을 파종하고 재배하면서 변이체를 선발하였으며, M_2세대에서 선발한 변이계통들은 M_3～M_4세대까지 세대를 진전시켜 고정성 여부와 예비특성조사를 실시한 후 고정성이 높고 유용형질의 특성을 갖는 31계통을 M_5세대로 공시하였다. M_5세대는 각 계통별로 60개체 3반복으로 2009년 10월 상순 파종하고 국립종자원 유채 신품종 심사를 위한 특성조사요령에 따라 고유특성 및 생육특성, 지방함량, 지방산조성 등을 조사하고 모품종과 변이계통들 사이의 유연관계 분석을 통해 유용형질을 갖는 9계통을 선발하였다. 선발된 9계통은 '내한'의 양성자처리 600 Gy와 1,000 Gy 각각 1계통, 감마선처리 600 Gy와 1,000 Gy 각각 2계통과 1계통이었으며, '탐미'의 감마선처리 600 Gy와 800 Gy 각각 1계통, '한라'의 감마선처리 200 Gy와 600 Gy 각각 1계통이었다.

2. M_6～M_7세대 생육특성 조사

국립종자원 유채 신품종 심사를 위한 특성조사요령을 따랐으며 주요 항목에 대한 조사방법은 다음과 같다. 개화기는 전 주수의 약 50%가 개화한 시기로 하였으며 성숙기는 전 주수의 약 90%가 성숙에 도달한 일자(성숙한 주경의 수 선단으로부터 1/3 정도의 협의 종자가 갈색으로 변할 때), 경장은 개화 후 성장이 멈추었을 때 각 개체별로 줄자를 이용하여 땅 표면의 줄기가 시작되는 부분에서 주경의 끝까지를 측정하였다. 협장은 성숙기에 주경의 꼬투리 아래부터 8협을 제외한 9협째부터 18번째협까지 각각 길이를 측정하여 평균하였으며, 1수협수는 성숙기 주경에 착생되어 있는 협수, 1협결실수는 협장을 측정한 협의 결실립수를 평균하였다. 모든 조사는 20개체 또는 20개체의 식물체 부위에서 3반복으로 조사하였다. 천립중은 풍건한 건전종자 100립을 4반복으로 측정하고 평균하였다. M_5세대에서 꽃의 크기가 큰 계통을 선발하였는데 이 계통의 꽃의 크기를 대조구와 비교하기 위해 꽃잎 한 장의 길이와 폭을 측정하였으며 꽃잎 전체의 면적을 엽면적계(LI-3100C, Area Meter, Li-COR,

inc., U.S.A)를 이용하여 측정하였다. 또한 자방과 주두까지의 길이를 버니어캘리퍼를 이용하여 측정하였다.

3. M_6～M_7세대 지방함량 및 지방산 분석

지방의 추출은 Soxhlet법을 이용하였으며, 먼저 수기와 원통여과지를 100°C에서 1시간 동안 건조시킨 후 데시케이터에서 방랭하고 각각 정량하였다. 건조하여 마쇄한 유채종자 시료 5 g을 Soxhlet 장치에서 ether (200 ml)를 이용하여 8시간 추출 후 ether를 완전히 날려보낸 수기를 건조시켜 무게를 측정하고 처음 정량한 수기 무게와의 차이를 백분율 하여 지방함량을 구하였다 (Sekhon *et al.* 1980). 지방산 분석은 유채종자 0.5 g을 잘 마쇄한 뒤 pear-shape flask에 넣고 methanol 15 ml와 sodium methoxide 1 ml을 첨가하여 공냉관을 설치하고 100°C oil bath에서 2시간 동안 반응시켜 상온에서 냉각한 후 n-hexane 15 ml을 넣어 추출하였다. 추출된 상층부의 n-hexane층을 filtering하여 vial에 넣고 GC (Agilent 6890N, GC-MSD, HP Co., Wilmington, DE, USA)로 분석하였다. GC 분석의 column은 HP-Innowax capillary (30 m × 0.32 mm × 0.25 μm)를 사용하였으며, injector 온도는 200°C, detector 온도는 250°C로 하고 오븐의 온도는 150°C에서 1분간 유지시킨 후 250°C까지 1분당 5°C를 상승시켜 20분간 유지하였다. Carrier gas는 H_2를 35 ml ·min^{-1}를 사용하여 air gas를 350 ml ·min^{-1}로 주입하였다.

4. 통계분석

모든 측정값의 통계분석은 Window용 SAS system, release 8.01 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA)로 유의수준 5%에서 Duncan의 다중검정 (DMRT)을 실시하였다.

결과 및 논의

1. M_6～M_7세대 생육특성

M_5세대에서 선발한 '내한' 유래 5계통, '탐미' 유래 2계통, '한라' 유래 2계통 (Kim and Eun 2011)을 M_6세대로 공시하고 파종하여 재배하면서 생육특성을 조사한 결과는 Table 1과 같으며, M_7세대의 특성조사 결과는 Table 2와 같다. M_5세대에서 조숙 · 단간으로 선발한 '내한' 유래 2계통 (NP600-1-1-198-2-1, NP1000-13-2-362-4-1)의 경우 M_6～M_7세대에서도 대조품종인 '내한'과 비교하여 개화기는 두 계통 모두 10～11일이 빠르고 (Fig. 1A), 성숙기의 경우 NP600-1-1-198-2-1계통이 6～7일, NP1000-13-2-362-4-1계통이 7～9일 빠르게 나타났다 (Fig. 1B). 경장은 M_6～M_7세대에서 NP600-1-1-198-2-1계통이 각각 15.6%, 16.5%가 짧게 나타났으며, NP1000-13-2-362-4-1계통은 각각 26.6%와 24.4%가 짧게 나타나 M_5세대에서의 조숙 · 단간 특성을 그대로 유지하였다. 또한 이 두 계통의 천립중, 분지수, 1수협수, 1협결실수 등 수량구성요소도 대조구와 비슷하거나 높게 유지되어 나타났다. '탐미' 유래 Tγ800-20-1-461-3-1계통의 경우도 개화기와 성숙기가 M_6～M_7세대에서 조숙을 유지하였으며, 경장 또한 대조품종 '탐미'에 비해 20% 이상 짧은 단간을 나타내었다. Nγ600-20-1-638-1-1계통은 '내한'의 감마선처리 유래 계통으로 M_5세대에서 꽃의 크기가 크고 탐스러워 선발하였는데, M_6～M_7세대의 꽃의 크기를 비교한 결과 (Table 3 and Fig. 2A, B) 대조품종인 '내한'과 비교하여 꽃잎 1장의 길이와 폭, 꽃잎 전체의 면적 및 자방과 주두까지의 길이 모두 유의적으로 크게 나타났으며 국내 육성품종 중 꽃의 크기가 가장 큰 품종으로 알려진 '탐

Table 1. Agronomic characteristics of the mutant lines in M_6 generation induced by irradiation of proton ion beams and gamma-ray to 3 rapeseed cultivar seeds

Line No.	Flowering date	Maturing date	Plant height (cm)	Weight of 1,000 seeds (g)	No. of branches/ plant	No. of siliqua/ panicle	Silique length (cm)	No. of seeds/ silique
cv. Naehan (wild type)	Apr. 22	Jun. 14	121.7 b[z]	4.1 ab	11.3 bcd	61.0 ab	5.3 c	13.6 c
NP600-1-1-198-2-1	Apr. 11	Jun. 08	102.7 c	4.0 ab	13.4 a	60.2 ab	5.7 b	17.6 b
NP1000-13-2-362-4-1	Apr. 12	Jun. 07	89.3 d	3.8 b	11.7 bc	64.7 a	5.3 c	15.6 bc
Nγ600-20-1-638-1-1	Apr. 14	Jun. 12	122.7 b	4.1 ab	12.8 ab	63.8 ab	6.7 a	24.4 a
Nγ600-21-1-641-1-1	Apr. 16	Jun. 13	126.7 a	4.0 ab	10.0 d	55.2 c	5.9 b	22.6 a
Nγ1000-4-1-268-1-1	Apr. 21	Jun. 15	123.7 ab	4.2 a	10.8 cd	59.8 b	4.6 d	8.7 d
cv. Tammi (wild type)	Apr. 14	Jun. 10	100.7 b	4.1 a	13.7 a	53.0 a	6.0 a	19.8 a
Tγ600-17-2-374-2-1	Apr. 15	Jun. 10	109.3 a	4.0 b	13.0 a	55.2 a	6.0 a	21.3 a
Tγ800-20-1-461-3-1	Apr. 10	Jun. 07	68.7 c	3.8 b	7.7 b	35.0 b	4.7 b	13.1 b
cv. Halla (wild type)	Apr. 17	Jun. 13	114.8 b	3.6 b	10.9 a	54.2 b	5.9 b	21.5 a
Hγ200-7-740-1	Apr. 17	Jun. 13	125.0 a	3.9 a	11.4 a	63.3 a	6.5 a	23.6 a
Hγ600-11-1-148-1-1	Apr. 13	Jun. 11	104.0 c	3.5 b	12.4 a	53.5 b	5.8 b	22.6 a

[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05.

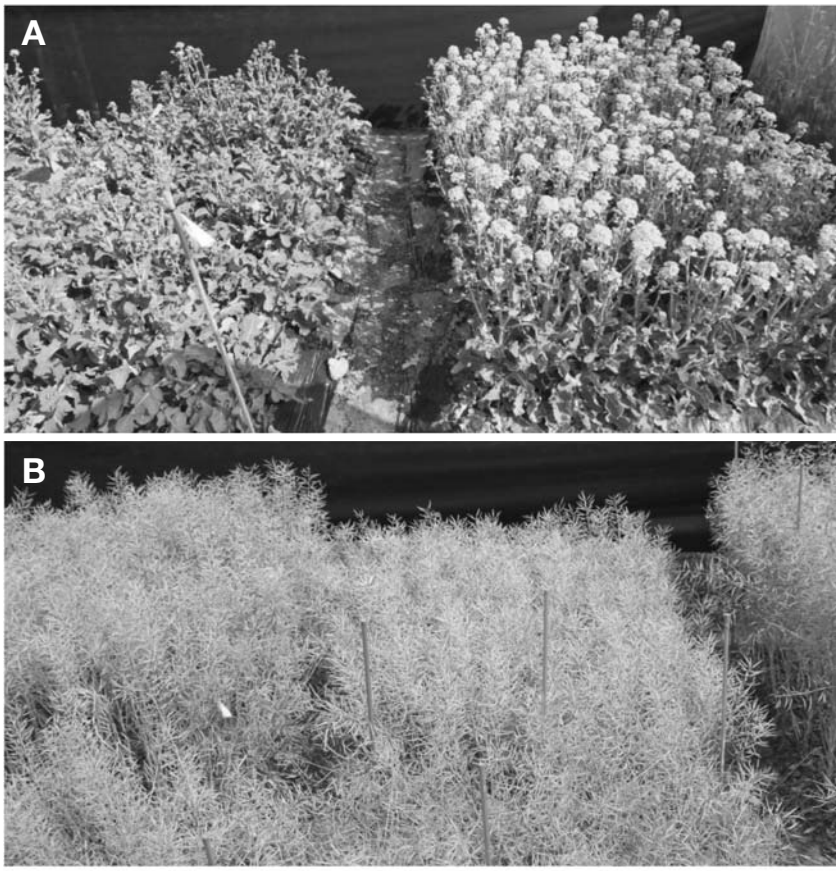

Fig. 1. Growth characteristics of the early flowering and maturing mutants line (NP1000-13-2-362-4) in M_6 and M_7 generations induced by irradiation of proton ion beams to the rapeseed 'Naehan' seeds. A: M_6 generation and B: M_7 generation.

Table 2. Agronomic characteristics of the mutant lines in M_7 generation induced by irradiation of proton ion beams and gamma-ray to 3 rapeseed cultivar seeds

Line No.	Flowering date	Maturing date	Plant height (cm)	Weight of 1,000 seeds (g)	No. of branches/ plant	No. of siliqua/ panicle	Silique length (cm)	No. of seeds/ silique
cv. Naehan (wild type)	Apr. 22	Jun. 13	118.7 a[z]	4.0 b	9.4 b	43.7 ab	5.5 bc	13.9 b
NP600-1-1-198-2-1	Apr. 12	Jun. 06	99.1 c	4.2 a	10.8 ab	45.3 ab	6.8 a	21.1 a
NP1000-13-2-362-4-1	Apr. 12	Jun. 04	89.7 d	3.8 c	10.8 ab	47.3 a	5.7 b	16.3 b
Nγ600-20-1-638-1-1	Apr. 16	Jun. 12	116.0 ab	4.1 ab	10.6 ab	45.0 ab	7.1 a	23.0 a
Nγ600-21-1-641-1-1	Apr. 16	Jun. 12	114.0 b	4.0 b	11.7 a	42.3 b	5.9 b	20.3 a
Nγ1000-4-1-268-1-1	Apr. 21	Jun. 14	116.8 ab	4.3 a	12.1 a	45.7 ab	5.1 c	13.6 b
cv. Tammi (wild type)	Apr. 16	Jun. 10	98.3 a	4.1 b	12.5 a	37.3 a	6.4 a	20.4 a
Tγ600-17-2-374-2-1	Apr. 15	Jun. 11	98.9 a	4.5 a	11.9 a	38.0 a	6.3 a	20.1 a
Tγ800-20-1-461-3-1	Apr. 09	Jun. 04	76.8 b	4.1 b	10.7 a	33.3 a	5.0 b	14.7 b
cv. Halla (wild type)	Apr. 19	Jun. 12	115.1 a	3.8 a	8.2 c	40.0 a	6.4 a	20.6 a
Hγ200-7-740-1	Apr. 18	Jun. 12	114.9 a	3.7 a	9.7 b	40.0 a	6.3 a	21.2 a
Hγ600-11-1-148-1-1	Apr. 15	Jun. 11	104.5 b	3.4 b	11.7 a	41.3 a	6.0 a	20.7 a

[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

미'(Jang *et al.* 1998) 보다도 유의적으로 크게 나타나 관상용 품종으로 개발이 기대된다. 그 외 계통들의 경우도 대부분 개화기 및 성숙기, 경장에 있어서는 M_5세대의 특성을 M_6~M_7세대에서 그대로 유지하였으나 천립중, 분지수, 1수협수, 1협결실수 등에서는 부분적으로 약간의 차이를 보였다. Lee *et al.* (1996)은 감마선을 처리한

Table 3. Comparison of flower size of the mutant line (Nγ600-20-1-638-1-1) in M_6 and M_7 generations induced by irradiation of gamma-ray to the rapeseed 'Naehan' seeds

Line No.	Petal length (mm)		Petal width (mm)		Petal area (cm^2)		Carpel length (mm)	
	M_6	M_7	M_6	M_7	M_6	M_7	M_6	M_7
cv. Naehan (wild type)	12.9 c[z]	13.6 c	7.4 c	7.6 c	1.25 c	1.76 c	7.9 c	7.9 b
cv. Tammi (wild type)	14.8 b	14.3 b	10.8 b	9.9 b	3.08 b	2.64 b	8.6 b	10.0 a
Nγ600-20-1-638-1-1	16.7 a	15.7 a	11.6 a	10.4 a	3.46 a	3.04 a	9.4 a	11.1 a

[z]Mean separation within colums by Duncan's multiple range test at P=0.05.

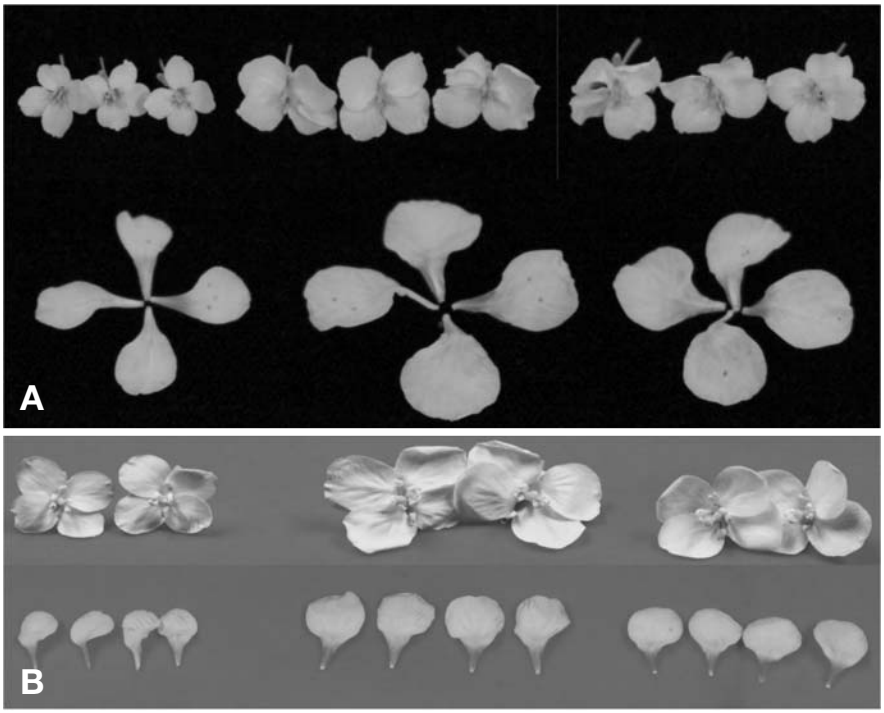

Fig. 2. Comparison of flower size of the mutant line (Nγ600-20-1-638-1-1) in M_6 and M_7 generations induced by irradiation of gamma-ray to the rapeseed 'Naehan' seeds. A: M_6 generation and B: M_7 generation (From left to right, cv. Naehan, Nγ600-20-1-638-1-1, cv. Tammi).

들깨의 M_5세대에서 초장과 엽색, 엽형 등이 계속 분리가 일어나는 계통이 있다고 하였고, 이와 같이 M_5세대 이후에 계속해서 분리가 일어나는 형질은 이 형질에 관여하는 유전자수가 2개 이상일 것으로 추정하였으며, 형질고정을 위해 계속 개체별로 분리 상태를 조사하면서 후대에 형질을 고정시킬 수 있을 것이라고 보고하였는데, 본 연구에서도 M_4세대까지는 경장과 개화기 등이 분리되어 나타났으나 (Kim 2011) M_5세대 이후 M_6～M_7세대에서는 고정되어 균일성과 안정성을 확보한 것으로 생각되었다.

2. M_6～M_7세대 고유특성 및 품질특성

M_5세대에서 선발한 '내한', '탐미', '한라' 유래 9계통의 M_6～M_7세대의 고유특성을 조사한 결과 (Table 4), 엽색, 줄기색, 꽃색, 종피색 모두 M_5세대에서 조사한 성적과 다르지 않게 나타나 고정된 것으로 생각되는데, '내한' 유래 NP600-1-1-198-2-1과 Nγ600-20-1-638-1-1의 경우 엽색이 '한라'와 유사하게 농녹색이었으며, 꽃색은 대부분 황색이었으나 '내한' 유래 Nγ600-20-1-638-1-1계통이 '탐미'와 유사하게 진한 황색을 나타내었다. M_6～M_7세대의 지방함량과 지방산조성을 분석한 결과 (Tables 5, 6), M_5세대에서 지방함량이 45.9% (모품종 '내한' 40.4%)로 가장 높게 조사되었던 NP600-1-1-198-2-1계통이 M_6세대에서 45.1%, M_7세대에서 43.6% 로 대부분의 모품종과 선발계통들보다 높게 나타났다. 유채 종자의 기름에 erucic acid 함량이 높으면 소화흡수가 불량하고 심장병이나 골격근염을 유발시킬 수 있어 (Ohlson 1983) 오늘날 유채 기

Table 4. Color characteristics of leaves, stem, flower, and seeds of the mutant lines in M_6 and M_7 generations induced by irradiation of proton ion beams and gamma-ray to 3 rapeseed cultivar seeds

Line No.	Color			
	Leaves	Stem	Flower	Seed
cv. Naehan (wild type)	Green	Green	Yellow	Black
NP600-1-1-198-2-1	Dark-green	Green	Yellow	Black
NP1000-13-2-362-4-1	Green	Green	Yellow	Black
Nγ600-20-1-638-1-1	Dark-green	Green	Dark-yellow	Black
Nγ600-21-1-641-1-1	Green	Green	Yellow	Black
Nγ1000-4-1-268-1-1	Green	Green	Yellow	Black
cv. Tammi (wild type)	Green	Green	Dark-yellow	Black
Tγ600-17-2-374-2-1	Green	Green	Dark-yellow	Black
Tγ800-20-1-461-3-1	Green	Green	Yellow	Black
cv. Halla (wild type)	Dark-green	Dark-green	Yellow	Black
Hγ200-7-740-1	Green	Dark-green	Yellow	Black
Hγ600-11-1-148-1-1	Green	Dark-green	Yellow	Black

Table 5. Oil contents and fatty acid compositions of the mutant lines in M_6 generation induced by irradiation of proton ion beams and gamma-ray to 3 rapeseed cultivar seeds

Line No.	OC[z] (%)	Composition of fatty acids (%)							
		PA (C16 : 0)	SA (C18 : 0)	OA (C18 : 1)	LA-1 (C18 : 2)	LA-2 (C18 : 3)	AA (20 : 0)	EA-1 (C20 : 1)	EA-2 (C22 : 1)
cv. Naehan (wild type)	41.1	4.16	1.69	64.37	19.13	8.80	0.55	1.00	0.27
NP600-1-1-198-2-1	45.1	3.89	2.12	67.33	16.42	8.21	0.62	1.05	0.31
NP1000-13-2-362-4-1	41.3	4.08	1.95	65.79	18.35	8.01	0.61	0.98	0.19
Nγ600-20-1-638-1-1	44.3	4.03	2.34	64.39	20.84	6.44	0.65	0.96	0.32
Nγ600-21-1-641-1-1	42.6	3.88	2.16	66.07	17.86	8.15	0.60	0.97	0.28
cv. Tammi (wild type)	43.3	4.09	0.90	66.36	20.31	5.96	0.44	0.84	0.06
Tγ600-17-2-374-2-1	41.9	4.39	2.11	64.42	21.47	6.21	0.42	0.82	0.05
Tγ800-20-1-461-3-1	44.2	3.53	2.98	68.58	17.89	5.53	0.54	0.73	0.17
cv. Halla (wild type)	44.1	4.00	2.17	67.29	19.97	5.28	0.44	0.75	0.06
Hγ200-7-740-1	43.6	3.96	2.38	66.56	19.63	5.48	0.46	1.10	0.38
Hγ600-11-1-148-1-1	45.4	3.86	1.96	69.27	18.09	5.38	0.47	0.85	0.09

[z]OC, PA, SA, OA, LA-1, LA-2, AA, EA-1, and EA-2 stand for oil content, palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, arachidic acid, eicogenic acid, and erucic acid, respectively.

름의 산업화규격은 최고 1%로 제한하고 있는데 (Daun and Adolphe 1997), 본 연구에서 선발한 계통들은 모두 0.5% 이하로 조사되었다. 지방산 중 oleic acid의 함량이 M_5세대에서 모품종과 비교하여 높게 나타난 2계통(NP600-1-1-198-2-1, Hγ600-11-1-148-1-1)이 있었는데, M_6～M_7세대에서도 높은 함량을 유지하였다. 특히, Hγ600-11-1-148-1-1계통의 경우 M_5세대에서 68.8% (모품종 '한라' 66.1%), M_6세대에서 69.3%, M_7세대에서 67.5%로 가장 높게 나타났다. Oleic acid는 불포화지방산 중 상대적으로 산화안정성이 높아 메칠에스터화반응 이전에는 융점이 상온이지만 에스터화반응 이후에는 −19.9°C로 융점이 낮아져 바이오디젤의 원료로 사용하기 위한 기름작물은 oleic acid가 많이 함유된 지방산조성을 갖는 것이 유리하다 (Jang *et al.* 2010). 식물 내에 주로 존재하는 포화지방산은 palmitic acid, stearic acid이며 이들의 포화지방산 함량이 낮게 함유된 바이오디젤용 유채의 품종개량 또한 요구되고 있다. 미국과 캐나다에서는 포화지방산 함량이 7.1% 미만인 것을 저 포화지방산으로 인정하고 있으며, 캐나다는 1차적으로 포화지방산의 함량이 6% 미만인 품종을 육성하는 데 목표를 설정하였다 (Rakow and Raney 2001). 본 연구에서 Hγ600-11-1-148-1-1계통의 포화지방산은 M_6세대에서 5.8%, M_7세대에서 6.0%로 저 포화지방산으로 나타났다. 따라서 유채기름의 지방산 조성에서 oleic acid와 포화지방산인 palmitic acid, stearic acid의 함량은 품질을 결정짓는 중요한 요소라 생각되며 '한라' 유래 Hγ600-11-1-148-1-1계통의 경우 oleic acid의 함량은 높고 palmitic acid, stearic acid의 함량은 낮아 바이오디젤용 유채 신품종 육성에 활용이 기대된다.

Table 6. Oil contents and fatty acid compositions of the mutant lines in M_7 generation induced by irradiation of proton ion beams and gamma-ray to 3 rapeseed cultivar seeds

Line No.	OC[z] (%)	Composition of fatty acids (%)							
		PA (C16 : 0)	SA (C18 : 0)	OA (C18 : 1)	LA-1 (C18 : 2)	LA-2 (C18 : 3)	AA (20 : 0)	EA-1 (C20 : 1)	EA-2 (C22 : 1)
cv. Naehan (wild type)	41.5	3.9	2.3	65.9	17.5	8.3	0.7	1.1	0.3
NP600-1-1-198-2-1	43.6	3.9	2.5	66.9	16.8	7.8	0.7	1.1	0.3
NP1000-13-2-362-4-1	41.7	3.7	2.2	65.6	18.2	8.2	0.7	1.1	0.3
Nγ600-20-1-638-1-1	42.4	3.9	2.5	64.0	21.0	6.6	0.7	1.0	0.3
Nγ600-21-1-641-1-1	42.0	3.9	2.3	66.2	17.1	8.2	0.7	1.1	0.5
cv. Tammi (wild type)	41.1	3.9	2.1	66.0	20.6	5.9	0.5	0.9	0.1
Tγ600-17-2-374-2-1	41.7	3.9	2.1	65.8	20.5	6.3	0.5	0.9	0.0
Tγ800-20-1-461-3-1	39.0	3.6	2.1	65.4	20.8	6.5	0.5	1.0	0.1
cv. Halla (wild type)	41.2	3.9	2.5	66.1	20.3	5.6	0.5	1.0	0.1
Hγ200-7-740-1	41.6	3.9	2.3	64.0	20.2	6.2	0.5	1.9	1.0
Hγ600-11-1-148-1-1	42.6	3.7	2.3	67.5	18.5	6.2	0.6	1.0	0.2

[z]OC, PA, SA, OA, LA-1, LA-2, AA, EA-1, and EA-2 stand for oil content, palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, arachidic acid, eicogenic acid, and erucic acid, respectively.

결 론

유채 (*Brassica napus* L.) '내한', '탐미', '한라' 등 3품종의 종자에 양성자 및 감마선을 0～2,000 Gy로 처리하여 M_5세대에서 선발한 9계통을 M_6～M_7세대까지 세대를 진전시켜 특성조사를 하였으며, 특성조사 결과를 토대로 균일성과 안정성 등 고정여부를 확인하여 신품종으로 출원하고자 본 연구를 실시하였다. M_5세대에서 선발한 9계통 모두 개화기 및 성숙기, 경장에 있어서 M_6～M_7세대에서 그대로 특성을 유지하였으며 특히, '내한' 유래 2계통 (NP600-1-1-198-2-1, NP1000-13-2-362-4-1)의 경우 M_5세대에서 조숙·단간의 특성이 있어 선발하였는데, M_6～M_7세대에서도 개화기가 10～11일, 성숙기가 6～9일이 빠르게 나타나 조숙의 특성을 유지하였으며, 경장에 있어서도 NP600-1-1-198-2-1계통이 M_6～M_7세대 평균 약 16%, NP1000-13-2-362-4-1계통이 약 25% 짧게 나타나 단간의 특성을 나타내었다. 또한 이 두 계통의 천립중, 분지수, 1수협수, 1협결실수, 지방함량, 올레인산함량 등도 대조구와 비교하여 비슷하거나 높게 유지됨을 확인할 수 있었다. M_5세대에서 꽃의 크기가 크고 탐스러워 선발한 계통 역시 M_6～M_7세대에서도 꽃이 진한 황색을 나타내고 크기가 큼을 확인하였으며, 지방산조성 중 oleic acid함량은 높고 포화지방산함량이 낮아 선발한 계통도 그 특성을 유지하여 바이오디젤용 신품종으로 육성이 기대된다.

사 사

본 연구는 농림수산식품부 생명산업기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

참 고 문 헌

Bang JK, Kim KS, Jang YS and Kim YB. 2008. Bioenergy crop development and research trends. *Korean J. Intl. Agri.* **20**(1): 24-29.

Bang JK, Lee JL, Min KS, Kim SK and Rho SP. 1986. Breeding for improvement of glucosinolate content infeed utilizability of rapeseed. *Korean J. Breed*. **18**(4):350-357.

Burbulis N and Kott LS. 2004. A new yellow-seeded canola genotype originating from double low black-seeded *Brassica napus* cultivars. *Can. J. Plant Sci*. **85**:109-114.

Cheong YK, Doo HS, Park KH, Ko JC, Ryu JH and Kim SD. 2004. Yield and quality characteristics of peanut mutants induced by gamma ray. *Kor. J. Breed. Sci*. **36**(5):260-265.

Daun JK and Adolphe DF. 1997. A revision to the canola definition. *Bulletin of GCIRC*. **14**:134-141.

Jang YS, Choi IH, Jeong BC, Lee JK, Kim WH and Sho S. 2002c. A new forage rapeseed hybrid (*Brassica napus* L.) with good quality and high yield, "Cheongram". *Kor. J. Breed. Sci*. **34**(4):363-364.

Jang YS, Choi IH, Oh YB, Cho SY, Chong DH and Oh HJ. 1998. A new early-maturing flower of large size and the use of sightseeing rapeseed variety "Tammiyuchae". *J. Indus. Crop Sci*. **40**:67-70.

Jang YS, Kim CW, Choi IH, Oh YB, Jung BC and Kim ST. 2002a. Yield performance and local adaptability of rapeseed F1 hybrids. *Kor. J. Breed. Sci.* **34**:41-45.

Jang YS, Kim KS, Lee YH, Cho HJ and Suh SJ. 2010. Review of property and utilization of crop for biodiesel. *J. Plant*

Biotechnol. **37**:25-46.

Jang YS, Kim CW, Choi IH, Oh YB, Jung BC and Park JH. 2002b. Method of seed production of F1 hybrids in *Brassics napus* L. *Korean J. Breed.* **34**:158-162.

Kim JS. 2011. Mutation breeding of rapeseed (*Brassica napus* L.) by proton ion beams and gamma ray irradiation. Ph. D. Thesis, Chonbuk Natl. Univ.

Kim JS and Eun JS. 2011. Selection of mutant lines with useful traits by irradiation of proton ion beams and gamma ray in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Kor. J. Breed. Sci.* **43**(2):145-153.

Kim KS, Jang YS, Lee YH, Cho HJ, Bang JK and Suh SJ. 2010. A new F1 hybrid variety of rapeseed (*Brassica napus* L.), 'Jomang' with early maturation, high yield and high oleic acid. *Kor. J. Breed. Sci*. **42**(3):236-240.

Kim KS, Kim YB, Jang YS and Bang JK. 2007. Bioenergy crop production and research trends. *J. Plant Biotechnol*. **34**(2): 103-109.

Kwon BS, Lee JL, Lee JL and Park HJ. 1985. Selection of mutants expressed quantitatively in M_2 generation of rapeseed. *Korean J. Breed*. **17**(2):193-197.

Lee JL, Jung DH and Ryu SN. 1994. Breeding for improvement of fatty acid composition in rapeseed. *Korean J. Crop Sci*. **39**(2):165-170.

Lee YI, Kim JS, Shin IC and Kang KK. 1996. Selection from gamma-ray induced leaf mutants in *Perilla frutescens*. *Kor. J. Breed. Sci*. **28**(1):75-79.

Ohlson JSR. 1983. Rapeseed oil. *JAOCS*. **60**(2):385-386.

Park YJ, Kim KS, Jang YS, Ki CW and Bang JK. 2006. Comparison of frequency embryogenesis through microspore culture of domestic cultivars in *Brassica napus* L. *Korean J. Crop Sci*. **51**(S):237-241.

Petukhov I, Malcolmson LJ, Przybylski R and Armstrong L. 1999. Low-linolenic acid soybean oil-alternatives to frying oils. *J. Amer. Oil Chem. Soc*. **76**:627-632.

Rakow G and Raney JP. 2001. Low saturated fat *Brassica napus*. GCIRC Technical Meeting, B18, Poznan, Poland.

Sekhon KS, Gupta SK, Ahuja KL and Jaswal SV. 1980. Variability in fatty acid composition in semi-spreading peanut types. *Oleagineux* **35**:406-412.

Shrestha K and Lee DJ. 2007. Status and prospects of biodiesel and bioethanol industry. *Korean J. Intl. Agri*. **19**:20-28.

Wright L. 2006. World commercial development of bioenergy with a focus on energy crop-based projects. *Biomass and Bioenergy* **30**:706-714.

Manuscript Received: October 25, 2013
Revised: November 18, 2013
Revision Accepted: November 19, 2013