블랙베리 (*Rubus fructicosus* L.) 돌연변이 유전자원의 생육특성과 형태학적 변이 분석

류재혁 · 김동섭 · 하보근 · 김진백 · 김상훈 · 정일윤
조한직[1] · 김이엽[1] · 강시용*

한국원자력연구원 첨단방사선연구소, [1](주)바이오플러스

Growth Characteristics and Morphological Variation Analysis of Mutant Lines Derived from Gamma-ray and Chemical Mutagen Treatments in *Rubus fructicosus* L.

Jaihyunk Ryu, Dong Sub Kim, Bo-Keun Ha, Jin-Baek Kim, Sang Hoon Kim, Il Yun Jeong, Han-Jik Jo[1], Ee-Yup Kim[1] and Si-Yong Kang*

Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongeup 580-185, Korea
[1]Bioplus (co.) Wanju, Jeonbuk 565-862, Korea

Abstract - This study was carried out to evaluate growth, morphological characteristics, and sugar content among fifty six blackberry (*Rubus fructicosus*) genotypes derived from gamma-ray treatment (fifty two lines), MNU treatments (three lines), and cross breed *R. fructicosus* × *R. parvifolius* (one line). While 56 genotypes had similar stem diameter with origin variety, the most of mutants showed reduced leaf size. Also, they showed a wide range of variation in fruit size and one hundred fruit weight compared with origin variety. In fruit size and sugar content, two mutant lines showed large fruit sizes and ten mutant lines showed 20% higher sugar content than the original variety. In the correlation analysis, positive relationships were determined between sugar content and stem diameter, fruit length, leaf wide and fruit length/fruit wide ratio. However, leaf length/leaf wide ratio showed a negative correlation with sugar content. The results will be used as fundamental data for *Rubus fructicosus* breeding program.

Key words : *Rubus fructicosus*, Gamma-ray, Chemical mutagen, Mutants, Correlation

서 론

나무딸기 (*Rubus*)는 장과류 과수로 장미과 (Rosaceae)에 속하는 관목성 식물이다 (Thompson 1997). 전세계적으로 나무딸기류 (bramble, raspberry)로 통칭되는 *Rubus*속에는 400여종 식물이 있으며, 크게 raspberry, blackberry, dewberry 계통으로 분류된다 (Thompson 1997). 우리나라에 자생하는 나무딸기류는 복분자 (*R. coreanus*), 멍석딸기 (*R. parvifolius*)를 비롯하여 다양한데, 19종 (이 1993)에서 아종 포함 28종 (이 1996)까지 보고되어 있다. 중부

* Corresponding author: Si-Yong Kang, Tel. +82-63-570-3310, Fax. +82-63-570-3329, E-mail. sykang@kaeri.re.kr

이남 특히 전북 고창, 정읍 및 제주도 등에서 복분자가 널리 재배되고 있는데, 이는 자생하는 복분자 딸기의 유사종으로 북미에서 도입된 black raspberry 종류로 추정된다(Kim *et al.* 2002). 나무딸기의 과실은 플라보노이드(Kim *et al.* 1997), 탄닌(Kim *et al.* 1996; Kim *et al.* 2000), 페놀성 화합물(Wang and Lin 2000) β-시스토스테롤 등의 성분을 함유하고 있어, 항산화 작용(Kim *et al.* 2000; Wang and Lin 2000; Cho *et al.* 2004)과 항암작용(Casto *et al.* 2002; Kresty *et al.* 2006)이 높아 식 · 음료 소재로 그 수요가 증가되고 있다. 나무딸기의 종자는 발육과 후숙이 잘 이루어지지 않아 발아율이 낮으며(Shin *et al.* 2008), 또한 경삽과 근삽은 증식률이 낮은 단점이 있다(Debnath 2004). 따라서 주로 조직배양 기술을 적용하여 번식이 이루어지고 있으며(Bobrowski *et al.* 1996; Meng *et al.* 2004), 국내에서도 기내 배양을 통한 블랙베리 대량번식에 관한 연구가 진행되었다(Shin *et al.* 2005; Shin *et al.* 2008).

나무딸기류의 재배 품종 육성은 1800년경 미국에서 시작되어 초기에는 주로 선발 육종을 이용하였으나 20세기에 들어와서는 종간, 종내 품종간 교잡육종이 주를 이루고 있다(Daubeny and Anderson 1993; Kim *et al.* 2002). 주요 육종 목표는 과실의 다수성과 저장성, 병충해 저항성, 기후적합성, 직립성 및 줄기에 가시가 없는 품종 개발에 주안점이 두어 있다(Daubeny and Anderson 1993; Hall and Brewer 1993; Kim *et al.* 2002). 우리나라에서도 최근 가시가 없는 블랙베리(*Rubus fruticosus* L.)의 신품종(Black V3)이 개발되었다(Shin *et al.* 2005).

돌연변이 육종방법은 기존의 우량 형질을 유지하면서 육종가가 원하는 몇 가지 유전형질을 개량할 수 있고, 육종기간도 단축할 수 있는 장점을 지니고 있다. 물리적 돌연변이 유발원으로 감마선, X선, 이온빔, 중성자빔 등이 있고, 화학적 돌연변이원으로 MNU, EMS, EI 등이 사용되고 있다(Bae *et al.* 2005; Hiroyasu *et al.* 2009; Goh *et al.* 2011). 또한 이러한 인위적인 돌연변이 육종기술은 다양한 유전자원의 변이를 확대할 수 있어 식물 유전자의 기능을 구명하는 기능유전체 연구에도 유용하다(Abe *et al.* 2000; Bae *et al.* 2001; Atsushi *et al.* 2010). 화학적 돌연변이원은 주로 유전자에 point mutation를 유발하는 특징이 있으며, 대부분이 인체에 암을 유발하는 문제점이 있어 돌연변이 처리 과정에 주의가 필요하다. 그러나 물리적 돌연변이원인 감마선, 이온빔, 전자빔 등은 방사능 잔류에 대한 우려 없이 안전하게 종자, 삽수, 조직배양체, 화분 등 다양한 식물체 재료에 적용이 가능하고, 특히 체세포 변이를 이용한 화훼 · 과수류의 형질개량에 많이 이용되고 있다(Sheela *et al.* 2006; Jia and Li 2008; Hiroyasu *et al.* 2009). FAO-IAEA 돌연변이 품종 데이터베이스에 의하면 2010년 현재 돌연변이 품종개발은 세계 63개국 172종의 식물에 3,000여 품종에 달한다고 보고되어 있으며, 나무딸기류의 돌연변이 품종은 화학적 돌연변이원(N-nitrosoethylurea) 처리에 의해 육성된 1개 품종(colo-colchnik, Russia)이 등록되어 있다(http://www-mvd.iaea.org).

본 연구는 블랙베리에 감마선 및 화학적변이원(MNU)을 처리한 돌연변이체를 대상으로 생육특성과 당도, 형태학적 특성을 조사하여 우량 신품종 육성을 위한 개체선발 및 평가에 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 식물재료

본 연구는 2005년도에 돌연변이 육종에 의해 개발한 블랙베리 V-9 계통을 대상으로 돌연변이 및 교배 방법으로 육성한 56계통을 이용하였다(Table 1). 돌연변이체 유기방법으로는 V-9계통의 기내배양체 및 삽수체에

Table 1. The origin of 57 genotypes of *Rubus fructicosus* L used in this study

No.	Lines	Treatment	No.	Lines	Treatment
1	V-9	Control	30	γ-F153	γ-ray 20 Gy
2	γ-1	γ-ray* 80 Gy	31	γ-F205	γ-ray 20 Gy
3	γ-2	γ-ray 80 Gy	32	γ-F207	γ-ray 20 Gy
4	γ-4	γ-ray 80 Gy	33	γ-F211	γ-ray 20 Gy
5	γ-A101	γ-ray 60 Gy	34	γ-F242	γ-ray 20 Gy
6	γ-A202	γ-ray 60 Gy	35	γ-F250	γ-ray 20 Gy
7	γ-A219	γ-ray 60 Gy	36	γ-G103	γ-ray 60 Gy
8	γ-B101	γ-ray 80 Gy	37	γ-G202	γ-ray 60 Gy
9	γ-B116	γ-ray 80 Gy	38	γ-G204	γ-ray 60 Gy
10	γ-B122	γ-ray 80 Gy	39	γ-G213	γ-ray 60 Gy
11	γ-B201	γ-ray 80 Gy	40	γ-G214	γ-ray 60 Gy
12	γ-B205	γ-ray 80 Gy	41	γ-G215	γ-ray 60 Gy
13	γ-B221	γ-ray 80 Gy	42	γ-S1	γ-ray 40 Gy
14	γ-B303	γ-ray 80 Gy	43	γ-S2	γ-ray 40 Gy
15	γ-C101	γ-ray 60 Gy	44	γ-S3	γ-ray 40 Gy
16	γ-C105	γ-ray 60 Gy	45	γ-S4	γ-ray 40 Gy
17	γ-C122	γ-ray 60 Gy	46	γ-S5	γ-ray 40 Gy
18	γ-C129	γ-ray 60 Gy	47	γ-S6	γ-ray 40 Gy
19	γ-C137	γ-ray 60 Gy	48	γ-S7	γ-ray 40 Gy
20	γ-C209	γ-ray 60 Gy	49	γ-S8	γ-ray 40 Gy
21	γ-C216	γ-ray 60 Gy	50	γ-S9	γ-ray 40 Gy
22	γ-C225	γ-ray 60 Gy	51	γ-S10	γ-ray 40 Gy
23	γ-C234	γ-ray 60 Gy	52	γ-S11	γ-ray 40 Gy
24	γ-D109	γ-ray 40 Gy	53	γ-S12	γ-ray 40 Gy
25	γ-D120	γ-ray 40 Gy	54	Cross-3	*V-9* × *R. parvifolius*
26	γ-D129	γ-ray 40 Gy	55	MNU-3	MNU† (Seed)
27	γ-D144	γ-ray 40 Gy	56	MNU-11	MNU (Seed)
28	γ-D210	γ-ray 40 Gy	57	MNU-32	MNU (Seed)
29	γ-D215	γ-ray 40 Gy			

*γ-ray: ^{60}Co (KAERI), †MNU: *N*-methyl-*N*′-nitrosourea (0.05%)

^{60}Co 감마선을 20, 40, 60, 80 Gy 선량으로 조사하여 육성한 52계통, V-9계통에서 채종한 종자에 화학적 변이원(MNU) 처리하여 육성한 3계통, V-9과 멍석딸기의 이종교배종 1계통을 이용하였고, 각 개체별 변이원 처리 내용은 Table 1과 같다. 블랙베리 원품종(V-9)과 56계통을 대상으로 생육 및 형태학적 특성, 당도의 변화, 형태학적 변이와 당도간의 상관 분석을 실시하였다. 유전자원은 (주) 바이오플러스(Bioplus Co. Korea) 육종포장(전북 완주 소재)에서 V자형 철재파이프 재배지주에 검은색의 PE을 멀칭하여 주간거리 0.5 m, 열간거리 3 m로 정식하여 재배하였다. 비배관리는 퇴비(4000 kg/10a)와 패화석(oyster shell) 비료(40 kg/10a)를 이용하였다.

2. 생육 및 형태학적 특성 조사

생육 및 형태학적 특성 조사는 2012년 5월부터 8월까지 포장에서 개체별로 개화기, 줄기직경, 잎의 길이와 넓이, 과실의 길이와 직경, 백과중, 엽형, 결각의 형태, 엽의 선단색, 가지색, 줄기색, 화색, 화피수, 화관의 착색정도를 조사하였다. 2년생 가지의 줄기직경은 지면으로부터 10 cm 부분을 측정하였고, 엽장은 가로 세로 길이를 개체별로 하부 가지에서 임의의 3개 잎을 대상으로 조사하였다. 과실의 크기는 개체별로 성숙한 과실을 임의로 10개 선정하여 측정하였고, 백과중은 기형과를 제외한 성숙과실 100개의 무게를 개체별로 3반복 측정하였다.

3. 과실의 당도 측정

당도측정은 개화 후 결실된 과실의 수확기를 초기(6월 하순), 중기(7월 중순), 말기(7월 하순)로 나누어 검게 착색된 과실만 수확하여 디지털 당도측정기(PAL-1, ATAGO, Japan)를 이용하여 각 개체별로 5반복 측정하였다.

4. 상관 분석

당도, 줄기직경, 잎의 길이와 넓이, 엽형 비율, 과실의 길이와 직경, 과형 비율, 백과중, 엽형, 엽결각의 형태, 잎 선단색, 가지색, 줄기색, 화색, 화피수, 화관의 착색정도간의 상관관계를 분석하였다. 이때 엽형, 결각의 형태, 엽의 선단색, 가지색, 줄기색, 화색, 화피수, 화관의 착색정도 등 형태학적 형질은 계급값으로 변환하였고, 각 형질의 측정치와 계급값을 통계프로그램 [SPSS Ver. 12 (SPSS Inc., USA)]에 입력하여 Pearson 상관계수(pearson correlation coefficients)를 이용하여 0.05% 유의수준에서 상관분석을 실시하였다.

결과 및 논의

1. 생육 및 형태학적 특성

블랙베리 V-9계통에서 돌연변이 및 교배 방법으로 육성된 56 변이체(계통)의 생육 및 형태학적 특성을 조사한 결과, 선발 개체들의 개화기는 원품종의 개화기 5월 18일과 비교하여 3개체(No. 4, 11, 48)에서 7일~10일까지 빠르게 나타났고, 5개체(No. 20, 24, 38, 54, 56)에서 7일~15일까지 지연되었다(Table 2). 각 계통의 경직경은 평균 7.6±0.6 mm (최소 6.1 mm에서 최대 10.7 mm)로 원품종의 7.9 mm와 유사한 수준이었다.

변이체의 엽장은 평균 77.4±4.3 mm이며, 최소 60.3 mm에서 최대 97.0 mm이고, 엽폭은 평균 48.9±3.9 mm, 최소 33.3 mm에서 최대 72.3 mm로 원품종보다 잎의 크기가 작은 경향이었다. 블랙베리를 농가에서 V자형 재배지주 재배시(Fig. 1-F) 잎이 큰 계통은 과실이 잎에 가려져 수확이 어렵고 채광이 낮은 문제가 발생하게 된다. 따라서 본 연구 결과 잎의 크기가 뚜렷하게 작은 5개체(No. 9, 20, 24, 56, 57)는 육종소재로 활용가치가 높은 것으로 보여진다. 방사선 조사 식물체에서 많이 보고되는 잎의 왜성화 변이는 기내배양된 덴드로비움(Dendrobium cv. Sonia) 난의 원괴체에 감마선을 조사한 경우(Sheela *et al.* 2006), 이온빔을 조사한 기내배양 담배, 벼(Bae *et al.* 2001; Bae *et al.* 2005) 등의 식물에서도 보고되었는데, 본 연구에서도 그러한 변이체가 많이 발생하였다.

엽형은 원품종이 우상복엽과 삼출엽이 혼합된 형태인 반면 5개체에서 우상복엽의 형태로만 잎차례가 변이되었다(Fig. 1-C 1, 2). 결각의 형태는 깊고 무딘 7개체, 얕고 무딘 17개체, 얕고 날카로운 6개체 이외에 원품종을 포함한 27개체는 깊고 날카로운 모양이었다. 잎선단의 색은 원품종을 포함한 38개체는 보라색이며, 변이체는 회백색 12개체, 녹색 7개체였다. 가지색은 녹색 11개체, 적녹색 21개체, 적색 24개체가 나타났다(Fig. 1-D 1, 2, 3). 꽃받침의 첨두색은 33계통에서 원품종과 같은 적색이며, 24개체는 녹색으로 변이되었다(Fig. 1-B 1, 3). 화피의 색은 MNU 유래 3개체의 꽃은 짙은 적색이었고, 그 외 54개체는 모두 분홍색이었다. 또한 화아의 색은 MNU 유래 3개체가 적색, 그외에는 녹색(Fig. 1-A 1, 2, 3, 4, Fig. 1-B 2)으로 변이원 처리에 따라서 화피와 화아의 색이 구분되는 특징을 나타냈다.

과실의 크기는 결실되지 않은 No. 56번(MNU 처리 유래)을 제외한 55개체의 길이가 평균 21.5±2.9 mm였고(최소 4.3 mm에서 최고 29.3 mm), 직경은 평균 15.8±

Table 2. Growth and morphological features in V-9 and 56 mutants of *Rubus fructicosus* L.

Line no.*	Blooming period[a]	Stem diameter (mm)	Leaf length (mm)	Leaf wide (mm)	Leaf shape ratio[b]	Fruit length (mm)	Fruit wide (mm)	Fruit shap ratio[c]	100 fruit weight (g)	Leaf shape[d]	Leaf lobation[e]	Color of leaf spire[f]	Branche color[g]	Color of petal[h]	Flower bud color[i]	Color of corlla spire[j]
1	2	8.0	76.3	53.3	1.4	23.0	15.7	1.5	714	2	1	1	1	1	2	1
2	2	10.7	65.0	58.3	1.1	24.3	17.0	1.4	724	2	2	1	1	1	2	2
3	2	8.4	78.0	44.0	1.8	17.7	14.0	1.3	609	2	3	3	2	1	2	1
4	1	10.8	90.0	67.0	1.3	21.7	19.3	1.1	716	2	3	3	2	1	2	1
5	2	8.2	75.0	46.3	1.6	26.0	18.3	1.4	729	2	3	1	1	1	2	1
6	2	8.5	80.3	51.3	1.6	15.3	11.0	1.4	749	2	1	1	2	1	2	2
7	2	9.5	87.0	42.3	2.1	29.3	19.7	1.5	756	2	1	1	1	1	2	2
8	2	8.4	78.0	36.3	2.2	19.3	13.0	1.5	773	2	1	3	2	1	2	2
9	2	9.6	69.7	42.3	1.7	15.7	12.7	1.2	635	2	2	3	2	1	2	1
10	2	9.0	84.3	49.7	1.7	28.0	20.3	1.4	750	2	2	1	2	1	2	2
11	1	6.2	76.3	50.3	1.5	19.7	13.3	1.5	658	2	4	1	1	1	2	2
12	2	7.8	88.0	57.7	1.5	21.7	13.7	1.6	774	1	1	1	1	1	2	1
13	2	9.8	82.7	49.0	1.7	16.0	10.3	1.6	644	1	1	3	1	1	2	1
14	2	6.9	75.7	44.7	1.7	25.7	18.3	1.4	606	1	2	1	1	1	2	2
15	2	7.7	82.3	41.0	2.0	19.0	15.3	1.2	749	2	1	1	2	1	2	1
16	2	6.2	90.0	55.0	1.6	26.7	14.0	1.9	763	2	1	1	2	1	2	1
17	2	7.8	71.3	51.7	1.4	18.0	14.3	1.3	520	2	1	1	1	1	2	1
18	2	7.3	70.7	40.7	1.7	17.7	14.0	1.3	675	2	1	1	2	1	2	1
19	2	7.5	90.3	56.3	1.6	23.3	18.7	1.3	584	2	3	1	1	1	2	1
20	3	7.5	66.7	47.0	1.4	22.7	18.2	1.2	694	1	3	1	1	1	2	2
21	2	7.8	81.7	42.3	1.9	18.3	13.3	1.4	708	2	1	1	1	1	2	2
22	2	7.9	81.7	45.3	1.8	25.0	17.0	1.5	740	2	1	1	1	1	2	2
23	2	7.7	80.0	54.3	1.5	19.7	15.7	1.3	621	2	2	1	2	1	2	1
24	3	7.3	69.7	45.0	1.6	11.0	7.7	1.4	369	2	4	2	1	1	2	2
25	2	7.5	71.7	43.0	1.7	27.3	17.0	1.6	737	2	4	2	3	1	2	1
26	2	7.8	60.3	51.3	1.2	27.0	16.7	1.6	733	2	1	1	2	1	2	1
27	2	7.4	74.3	51.3	1.5	24.7	15.7	1.6	655	2	1	1	1	1	2	1
28	2	7.7	76.7	57.0	1.3	20.3	15.0	1.4	604	2	1	1	3	1	2	2
29	2	9.0	76.0	50.7	1.5	25.0	14.3	1.7	624	2	4	1	3	1	2	1
30	2	6.4	77.3	46.0	1.7	4.3	2.7	1.6	541	1	2	1	3	1	2	1
31	2	9.0	86.0	48.0	1.8	18.0	15.7	1.2	738	2	3	2	2	1	2	1
32	2	9.2	70.0	48.3	1.5	26.0	20.3	1.3	798	2	3	2	1	1	2	1
33	2	7.4	63.0	34.7	1.8	26.3	17.7	1.5	731	2	3	1	1	1	2	2
34	2	7.8	60.7	41.7	1.5	21.0	20.0	1.1	618	2	3	3	3	1	2	1
35	2	6.9	81.7	56.0	1.5	21.3	13.3	1.6	618	2	1	2	2	1	2	1
36	2	7.6	75.0	58.3	1.3	24.3	14.3	1.7	765	2	3	3	2	1	2	1
37	2	7.1	93.3	72.3	1.3	23.3	15.3	1.5	736	2	3	3	1	1	2	1
38	3	6.4	73.0	43.7	1.7	24.3	15.0	1.6	644	2	1	1	1	1	2	1
39	2	6.4	72.0	45.3	1.6	22.0	16.0	1.4	481	2	3	1	3	1	2	2
40	2	7.0	75.7	54.7	1.4	24.0	17.3	1.4	672	2	3	2	2	1	2	2
41	2	6.7	73.0	46.0	1.6	21.7	14.7	1.5	647	2	4	3	2	1	2	2
42	2	6.3	73.3	38.3	1.9	26.0	20.0	1.3	734	2	1	3	3	1	2	2
43	2	6.4	85.0	53.3	1.6	26.7	26.0	1.0	789	2	1	2	3	1	2	1
44	2	6.3	86.7	54.3	1.6	23.7	19.3	1.2	650	2	1	1	3	1	2	1
45	2	6.8	71.3	46.0	1.6	21.7	16.0	1.4	743	2	2	1	1	1	2	2
46	2	6.2	78.3	43.3	1.8	22.0	15.3	1.4	738	2	1	1	3	1	2	2
47	2	6.4	69.0	38.3	1.8	21.3	17.7	1.2	707	2	1	1	2	1	2	1
48	1	6.6	77.3	44.0	1.8	17.0	15.7	1.1	647	2	1	1	1	1	2	1
49	2	6.7	75.3	46.0	1.6	21.7	19.3	1.1	712	2	1	1	1	1	2	1
50	2	6.2	91.7	53.7	1.7	23.3	17.3	1.4	692	2	1	3	2	1	2	2
51	2	6.7	78.3	41.7	1.9	22.0	20.3	1.1	712	1	1	1	3	1	2	1
52	2	6.4	97.0	67.3	1.4	21.7	17.3	1.3	605	2	4	3	2	1	2	1
53	2	6.9	78.7	50.0	1.6	25.3	18.3	1.4	683	2	3	3	3	1	2	2
54	3	10.7	86.3	58.3	1.5	17.3	15.7	1.1	767	2	3	1	2	1	2	1
55	2	7.6	93.0	58.7	1.6	19.0	13.7	1.4	700	2	3	1	1	2	1	1
56	3	7.3	61.3	33.3	1.8	–	–	–	–	2	1	1	2	2	1	1
57	2	8.0	64.3	41.7	1.5	14.3	11.7	1.2	619	2	3	1	1	2	1	1

*Line numbers were included in Table 1. [a]Early (1), medium (2), Late (3), [b]Leaf length/Leaf wide, [c]Fruit length/Fruit wide, [d]Pinnate compund leaf (1), Mix (pinnate compund leaf+trifoloate) (2), Trifoloate (3), [e]Deeply and sharply lobed (1), Deeply lobed (2), Shallowly lobed (3), Shallowly and sharply lobed (4), [f]Violet (1), Green (2), White (3), [g]Red (1), Red-green (2), Green (3), [h]Pink (1), Red (2), [i]Red (1), Green (2), [j]Red (1), Green (2).

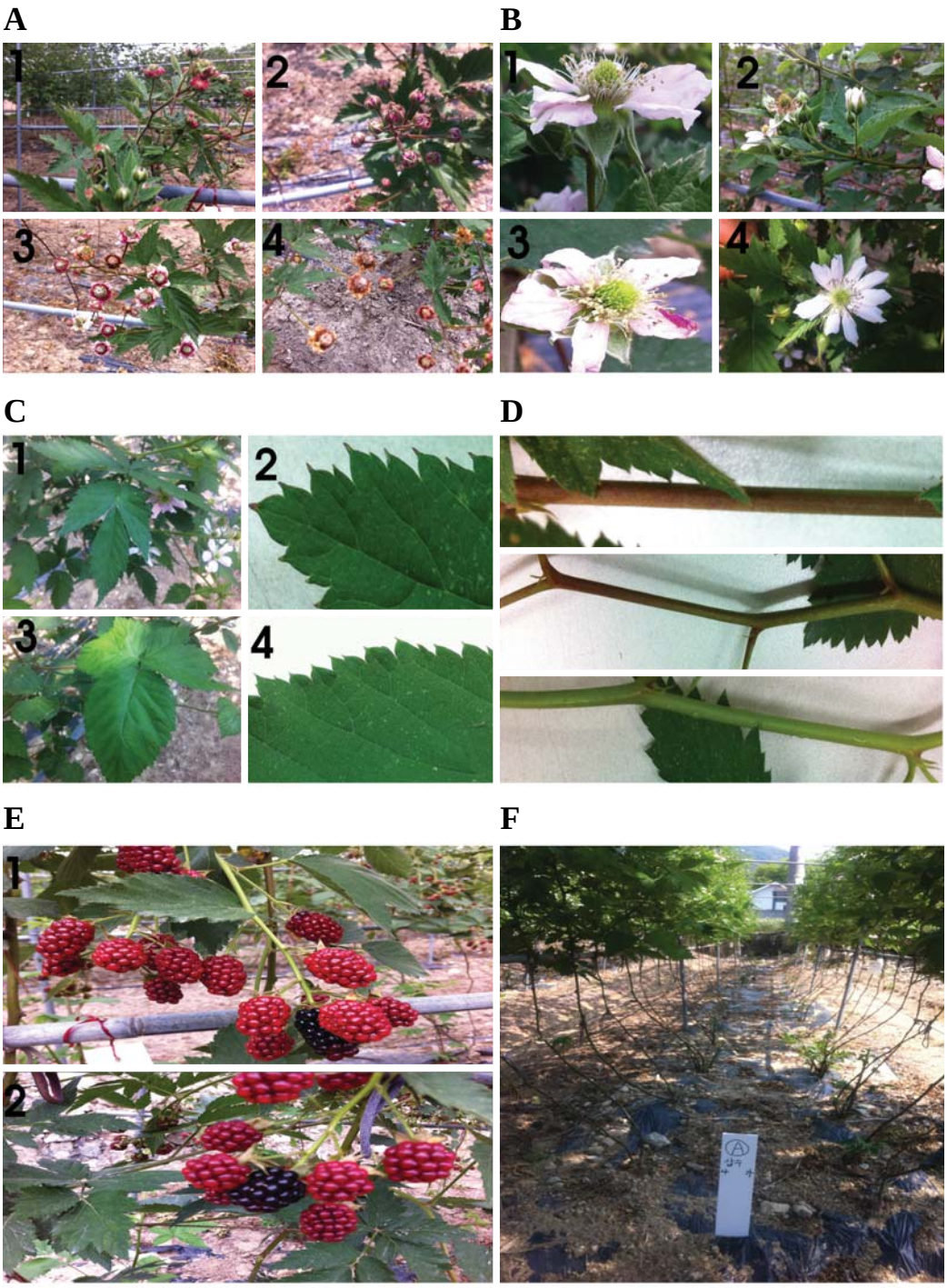

Fig. 1. Morphological variation in *Rubus fructicosus* L. A. Variation in flower (1: dark red flower, 2: Red flower bud, 3: White petal, 4: Red-yellow petal), B. Variation in petal (1: Corolla spire length mutant, 2: Control, 3: Petal shape mutant, 4: Number of petal mutant), C. Variation in leaf shape (1: Pinnate compund leaf, 2: Deeply and sharply lobed, 3: trifoliate, 4: Shallowly lobed), D. Variation in stem color (Red, Red-green, Green), E. Variation in fruit shape (1: oval, 2: circle) F. Profile of cultivation.

1.7 mm (최소 2.6 mm에서 최고 26.0 mm)였다. 이 중 2개체 (No. 7, 10)는 원품종과 비교하여 과실의 크기가 30% 이상 크게 증가하였다. 백과중은 최소 480 g에서 최대 790.0 g (No. 32)사이로 평균 680.3±40.5 g이었다. 특히 2개체 (No. 32, 43)는 원품종의 714 g보다 10% 이상 백과중이 증대되었다. 과실의 형태는 원품종의 길이와 넓이

의 비율이 1.4로 타원형이며, 6개체에서 1에서 1.2 이하의 원형에 가까운 형태로 변이되었으며, 3개체는 1.6 이상으로 장타원형을 나타냈다(Fig. 1-E1, 2). 감마선을 처리한 바나나(*Musa acuminata*), 복숭아(*Prunus persica*), 사과(*Malus domestica*)에서 과실의 대과성 변이체를 선발하여 품종 육성한 사례(Stefano 2001)를 볼 때, 본 결과에서 얻어진 백과중이 큰 변이 계통은 대과성 블랙베리의 품종육성에 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 과실의 숙기별 당도 분석

수확기 변이 계통의 당도 변화를 조사한 결과, 결실초기 당도는 최저 6.4˚Brix (No. 57)에서 최고 13.6˚Brix (No. 4)이었다(Table 3). 9개체 (No. 2, 4, 10, 14, 27, 32, 34, 37, 38)에서는 원품종의 8.2˚Brix보다 20% 이상 높은 당도를 나타내었다. 중기인 7월 16일에 당도도 최저 7.1˚Brix에서 최고 14.2˚Brix 사이로 7개체 (No. 2, 4, 14, 27, 32, 34, 37, 38)의 당도가 원품종보다 높았다. 말기인 7월 31일 당도는 최저 7.7˚Brix (No. 57)에서 최고 14.7˚Brix (No. 4) 사이로 이 중 10개체 (No. 2, 4, 5, 11, 13, 15, 28, 36, 38, 41)의 당도가 원품종의 당도(10.5˚Brix)보다 20% 이상 높게 나타났다. 과실의 모든 계통에서 생육기간의 경과에 따라 당도가 높아졌으며, 이는 복분자 딸기를 대상으로 숙기별 당도를 측정한 결과 숙기가 진행될수록 당도가 약 2˚Brix 증가한 결과(Cha *et al.* 2007)와 일치하는 경향이다. X-선을 조사한 오렌지(*Citrus* spp.) 변이체를 이용하여 “Eureka 22”, “Valencia 2”와 같은 고당도 품종을 육성한 사례(Stefano 2001)가 있으며, 배(Pear)의 기내배양 체세포 영양계변이(somaclonal variation)에서도 고당도 변이체가 선발되었다(Predier *et al.* 1998).

3. 상관분석

당도와 생육 및 형태학적 형질과의 상관관계를 분석한 결과, 16개 형질 중 줄기직경 0.370**, 과실길이 0.309*, 잎너비 0.398**, 과형비율 0.323*간에 유의성 있는 정의

Table 3. Sugar contents of 57 genotypes of *Rubus fructicosus* L. on harvest periods

Line no.*	Fruit maturation stage			Line no.	Fruit maturation stage		
	Coloring (Jun. 28)	Ripened (Jul. 16)	Fully Ripened (Jul. 31)		Coloring (Jun. 28)	Ripened (Jul. 16)	Fully Ripened (Jul. 31)
	Sugar concentration (˚Brix)				Sugar concentration (˚Brix)		
1	8.2±0.4	9.7±0.1	10.2±0.2	30	8.5±0.4	9.2±0.2	10.3±0.3
2	12.5±0.5	13.0±0.4	13.6±0.1	31	12.2±0.1	12.8±0.2	13.1±0.1
3	8.2±0.2	9.8±0.1	10.3±0.1	32	8.5±0.2	9.4±0.2	10.5±0.1
4	13.6±0.2	14.2±0.3	14.7±0.1	33	12.2±0.4	12.8±0.3	13.2±0.1
5	7.5±0.4	8.2±0.2	8.8±0.1	34	8.5±0.1	9.3±0.2	10.1±0.1
6	8.5±0.2	9.6±0.2	10.0±0.1	35	9.2±0.4	10.0±0.2	11.2±0.2
7	9.1±0.4	10.2±0.3	11.4±0.3	36	12.5±0.1	13.1±0.1	13.5±0.1
8	7.4±0.2	8.6±0.2	9.1±0.2	37	10.7±0.2	11.4±0.2	11.9±0.1
9	8.8±0.1	9.0±0.1	9.5±0.1	38	7.8±0.5	8.7±0.3	9.2±0.1
10	10.7±0.7	11.6±0.2	12.0±0.1	39	9.4±0.3	9.7±0.0	11.0±0.2
11	10.1±0.3	10.8±0.2	11.3±0.2	40	9.4±0.1	9.7±0.2	11.0±0.1
12	10.0±0.1	11.8±0.2	12.7±0.2	41	6.3±0.2	7.9±0.2	9.4±0.2
13	8.8±0.4	9.8±0.1	10.7±0.2	42	8.7±0.1	9.5±0.1	10.3±0.3
14	12.3±0.4	12.9±0.1	13.3±0.1	43	8.7±0.5	9.6±0.1	10.5±0.1
15	7.7±0.5	8.6±0.1	9.4±0.3	44	9.4±0.3	9.9±0.1	11.1±0.1
16	9.0±0.1	9.9±0.1	10.8±0.1	45	8.5±0.2	9.6±0.2	10.5±0.3
17	8.0±0.1	9.0±0.1	9.7±0.2	46	8.4±0.1	9.5±0.1	10.4±0.1
18	7.7±0.2	8.6±0.1	9.2±0.3	47	7.9±0.3	8.4±0.1	9.4±0.4
19	8.5±0.2	9.3±0.2	10.2±0.3	48	8.0±0.4	9.0±0.1	9.9±0.3
20	7.5±0.4	8.8±0.5	10.4±0.1	49	7.3±0.2	8.3±0.2	9.1±0.2
21	9.5±0.3	10.3±0.2	11.2±0.4	50	7.8±0.2	8.2±0.2	9.3±0.1
22	8.1±0.5	9.0±0.1	9.6±0.1	51	7.8±0.1	8.6±0.1	9.3±0.1
23	8.7±0.2	9.3±0.4	10.3±0.2	52	8.1±0.1	8.5±0.2	9.1±0.2
24	7.5±0.1	9.0±0.1	10.6±0.1	53	8.5±0.3	10.0±0.4	12.2±0.2
25	10.0±0.2	10.7±0.2	11.4±0.1	54	8.9±0.1	9.6±0.1	10.4±0.3
26	8.8±0.5	9.6±0.1	10.2±0.4	55	8.7±0.2	9.4±0.3	10.4±0.1
27	12.2±0.4	13.1±0.2	13.5±0.2	56	–	–	–
28	7.8±0.2	8.7±0.1	9.4±0.1	57	6.4±0.3	7.1±0.1	7.7±0.1
29	7.0±0.1	8.1±0.1	9.1±0.2				

*Line numbers were included in Table 1.

Table 4. Correlation coefficients between sugar content and morphological features in *Rubus fructicosus* L.

Caracters	Sugar content	Stem diameter	Fruit length	Fruit wide	Fruit weight /100 (ea)	Leaf length	Leaf wide	Leaf shape	Leaf lobed	Color of leaf spire	Branches color	Color of petal	Flower bud color	Color of corlla spire	Leaf shape ratio	Fruit shap ratio
Sugar content	1															
Stem diameter	0.370**	1														
Fruit length	0.309*	−0.048	1													
Fruit wide	0.222	−0.025	0.782**	1												
Fruit weight/ 100 (ea)	0.221	0.218	0.499**	0.439**	1											
Leaf length	0.178	0.095	0.239	0.214	0.310*	1										
Leaf wide	0.398**	0.147	0.237	0.054	0.122	0.609**	1									
Leaf shape	−0.111	−0.077	0.050	0.029	0.015	−0.024	0.054	1								
Leaf lobed	0.220	0.059	0.022	−0.047	−0.191	−0.041	0.220	0.116	1							
Color of leaf spire	0.056	0.043	0.048	0.087	0.052	0.156	0.178	0.101	0.304*	1						
Branches color	−0.141	−0.054	0.100	0.185	0.176	0.006	−0.072	0.055	0.009	0.245	1					
Color of petal	−0.244	−0.083	−0.028	−0.094	−0.106	−0.228	−0.207	−0.020	−0.107	−0.101	0.061	1				
Flower bud color	0.109	0.298*	−0.140	0.025	0.065	0.015	−0.078	−0.103	−0.056	0.157	0.198	0.031	1			
Color of corlla spire	0.087	−0.047	0.089	0.159	0.088	−0.054	−0.142	0.049	0.039	−0.056	−0.101	−0.072	0.102	1		
Leaf shape ratio	−0.315*	−0.067	−0.080	0.135	0.142	0.112	−0.708**	−0.066	−0.329*	−0.047	0.090	0.054	0.131	0.136	1	
Fruit shap ratio	0.323*	−0.012	0.328*	0.005	0.150	0.175	0.253	−0.082	0.095	0.018	−0.095	−0.255	0.017	0.171	−0.180	1

*=P＜0.05 **=P＜0.01

상관관계를 나타냈다(Table 4). 반면에 엽형비율은 당도와 −0.315*로 유의적인 부의 상관이 인정되었다. 생육 및 형태형질간의 상관관계로 줄기직경은 화아색과 0.298*의 유의적인 정의 상관을 보였다. 과실 형질간에는 과실길이와 과실너비간에 상관계수가 가장 높은 0.782**로 정의 상관을 나타냈고, 과실길이와 백과중 0.499**, 과실길이와 과형비율 0.328*, 과실너비와 백과중간에는 0.439**로 모두 유의적인 정의 상관을 나타냈다. 이 밖에 백과중은 잎의 길이와 0.310*의 정의 상관을 나타냈다. 잎의 크기와 형태와 관련된 형질 중 잎의 길이와 너비간에는 유의적인 정의 상관(0.609**)을 나타냈고, 잎너비와 잎형비간은 상관계수가 −0.708**로 높은 유의적 부의 상관을 나타냈다. 잎의 형태와 관련된 결각의 형태와 잎첨두색은 0.304*로 정의 상관을, 결각의 형태와 엽형비는 −0.329*의 부의 상관관계를 나타냈다. Kim *et al.* (2002)은 복분자 딸기 198계통을 대상으로 8개 형태 및 생육형질간에 상관분석을 실시한 결과, 과실길이, 과실립당 무게, 결과수, 결과지당 개화수간에 정의 상관관계를 나타낸다고 하였는데, 본 연구 결과 과실길이와 과실너비, 백과중간에 정의 상관을 나타낸 결과와 일치하였다. 그러나 당도와 과실 길이, 과실 너비, 과실당 무게와는 부의 상관관계를 나타내어 과실의 크기가 크고, 결과수가 많은 다수성 계통일수록 당도가 낮은 점은 과실길이와 당도가 정의 상관을 보인 본 연구 결과와 차이를 나타냈다. 일반적으로 과채류의 당도는 유전적 요인에도 좌우되지만 (Shrivastava 1998), 생육시기의 기상, 토양수분, 질소 등의 환경요인에도 영향을 받기 때문에 (Kim *et al.* 2002) 연구에 따라 당도와 생육 형질간에 상관관계 차이가 발생한 것으로 생각된다.

결 론

다양한 변이원을 처리하여 육성한 블랙베리 변이체를 대상으로 우량 신품종 육성을 위한 개체선발 및 평가에 활용하고자 생육특성을 측정하고, 각 형질간의 상관관계를 분석하였다. 원품종과 비교하여 변이계통의 줄기직경은 유사한 수준이었으며, 잎의 크기는 감소하는 경향이었다. 과실 크기와 백과중, 당도는 계통별로 변이가 크게 나타났으며 과실의 숙기별 당도는 모든 계통에서 숙기가 진행될수록 당도가 증가하였다. 형태학적 형질 중 화피와 화아색이 MNU 처리 계통에서 적색으로 변화하여 감마선 처리 계통 및 교배 유전자원과 구분되었다. 당도와 생육 및 형태학적 형질과의 상관관계를 분석한 결과 4개 형질 (경직경, 과실길이, 잎너비, 과형비율)에서 정의 상관관계를 나타냈고, 엽형비율과는 부의 상관관계를 나타냈다. 생육 및 형태형질간 상관관계는 8개 형질에서 정의 상관을 나타냈고, 2개 형질간 부의 상관을 나타냈다. 이러한 결과는 블랙베리 신품종 육성을 위한 개체선발 및 평가에 기초자료로서 활용가치가 있으며, 이를 바탕으로 고품질 다수성 블랙베리 육종의 유전자원 소재로서 활용이 가능한 왜화엽 5계통, 대과성 2계통, 고당도 10계통을 선발하였다.

사 사

이 논문은 정읍시의 “정읍 특화사업 육성을 위한 블랙베리 신품종 및 대량생산 활용기술 개발”의 과제 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

이영노. 1996. 한국식물도감. 교학사, pp. 322-328, 서울, 한국.

이창복. 1993. 대한식물도감. 향문사, pp. 780-784, 서울, 한국.

Abe N, Nemoto A, Tsuchiya Y, Hojo H and Hirota A. 2000. Study of the 1.1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging mechanism for a 2-pyrone compound. *Biosci. Biotech. Biochem.* **64**:306-333.

Atsushi M, Toshikazu N, Noriyuki F, Ken H, Yasuhiro M and Yoshihiro H. 2010. Ray florets color and shape mutants induced by $^{12}C^{5+}$ ion beam irradiation in *Chrysanthemum. Scientia Horti.* **123**:558-561.

Bae CH, Abe T, Matsuyama N, Fukunishi N, Nagata T, Nakano T, Kaneko Y, Miyoshi K, Matsushima H and Yoshida S. 2001. Regulation of chloroplast gene expression is affected in *ali*, a novel *tobacco* albino mutant. *Ann. Bot.* **88**:545-553.

Bae CH, Chai JS, Kim JH, Yang TG, Lyu JI, Lee HY and Yang DC. 2005. Characteristics of *tobacco* and rice plants irradiated with neutron beam. *Plant Res.* **18**(3):359-366.

Bobrowski, VL, Mello-Farias PC and Peters JA. 1996. Micropropagation of blackberries (*Rubus* sp.) cultivars. *Rev. Bras. de Agrociencia* **2**:17-20.

Casto BC, Kresty LA, Kraly CL, Pearl DK, Knobloch TJ, Schut HA, Stoner GD, Mallery SR and Weghorst CM. 2002. Chemoprevention of oral cancer by black rasberries. *Anticancer Res.* **22**:4005-4015.

Cha HS, Yoon AR, Park PJ, Choi HR and Kim BS. Physicochemical characteristics of *Rubus coreanus* Miquel during maturation. *Food SCI. Technol.* **39**(4):476-479.

Cho MJ, Howard LR, Prior RL and Clark JR. 2004. Flavonoid glycosides and antioxidant capacity of various blackberry,

blueberry and red grape genotypes determined by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry. *J. Food Agri.* **84**(13):1771-1782.

Daubeny HA and Anderson AK. 1993. Achievements and prospects-The british columbia red raspberry breeding program. *Acta. Horti.* **352**:285-293.

Debnath SC. 2004. Clonal propagation of dwarf raspberry (*Rubus pubescens* Raf.) through *in vitro* axillary shoot proliferation. *Plant Growth Regul.* **43**:179-186.

Goh EJ, Kim JB, Ha BK, Kim SH, Kang SY and Kim DS. 2011. Genetic variation analysis of arabidopsis (*Arabidopsis thaliana* L.) plant induced by acute and chronic gamma irradiation. *J. Radi. Indus.* **5**(4):347-352.

Hall HK and Brewer LR. 1993. Breeding *Rubus* cultivars for quality and diversity. *Acta. Horticult.* **352**:329-337.

Hiroyasu Y, Akemi S, Yoshihiro H, Konosuke D, Atsushi T and Toshikazu M. 2009. Mutation induction with ion beam irradiation of lateral buds of *Chrysanthemum* and analysis of chimeric structure of induced mutants. *Euphytica* **165**:97-103.

Jia CF and Li AL. 2008. Effect of gamma radiation on mutant induction of *Fagopyrum dibotrys* Hara. *Photosynthetica.* **46**(3):363-369.

Kim KH, Lee YA, Kim JS, Lee DI, Choi YW, Kim HH and Lee MW. 2000. Antioxidative activity of tannins from *Rubus coreanum*. *J. Pharm, Soc. Korea* **44**:354-357.

Kim MJ, Kim, HS and Lee UK. 2002. Selection of Korean black raspberry (*Rubus coreans* Miq.) for larger fruit and high productivity. *Kor. For. Soc.* **91**(1):96-101.

Kim MS, Pang GC and Lee MW. 1996. Tannins from the leaves of *Rubus coreanum. J. Pharm, Soc. Korea* **40**:666-669.

Kim MS, Pang GC and Lee MW. 1997. Flavonoids from the leaves of *Rubus coreanum. J. Pharm, Soc. Korea* **41**:1-6.

Kresty, LA., Frankel WL, Hammond CD, Baird ME, Mele JM, Stoner GD and Fromkes JJ. 2006. Transitioning from preclinical to clinical chemopreventive assessments of lyophilized blackberries: interim results show berries modulate markers of oxidative stress in Barrett's esophagus patients. *Nutr. Cancer* **54**:148-156.

Meng R, Chen THH, Finn CE and Li Y. 2004. Improving *in vitro* plant regeneration from leaf and petiole explants of 'Marion' blackberry. *HortScience* **39**(2):316-320.

Predieri S, Bertazza G and Gennari F. 1998. Pear cv. Bartlett mutants selection for high fruit quality: analysis of soluble sugars and organic acids. Atti IV Giornate Scientifiche SOI, Sanremo. Aprile. pp. 65-66.

Sheela VL, Sarada S and Anita S. 2006. Development of protocom-like bodies and shoots in *Dendrobium* cv. Sonia following gamma irradiation. *J. Trop. Agri.* **44**(1-2):86-87.

Shin JS, Lee JC, Sim OK, Yoon TY, Cho HJ and Kim EY. 2008 Plant regeneration via multiple shoot formation from sucker explant of Hybrid Blackberry (*Rubus fruticosus* L. × *R. parvifolius* L.). *Korean J. Plant Res.* **21**(2):111-116.

Shin JS, Sim OK, Lee JC, Cho HJ, Kim EY and Lee KS. 2005. Plant regeneration via multiple shoot formation from sucker explants of *Rubus fruticosus* L. *Kor. J. Plant Res.* **18**(3): 456-461.

Shrivastava AK. 1998. Heterosis and inbreeding depression for acidity total soluble solid, reducing sugar and dry matter content in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Advan. in Plant Sci.* **11**(2):105-110.

Stefano P. 2001. Mutation induction and tissue culture in improving fruits. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* **64**:185-210.

Thompson MM. 1997. Survey of chromosome number in *Rubus* (Rosaceae: Rosoideae). *Ann. Mol. Bot. Garden* **84**:129-165.

Wang SY and Lin HS. 2000. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *J. Agric. Food Chem.* **48** (2):140-146.

Manuscript Received: July 18, 2012
Revised: August 3, 2012
Revision Accepted: August 13, 2012