

벼 遺傳子 集積에 따른 脂質含量 特性

尹景民 · 洪淳寬^{1)*}

강원대학교 농업생명과학대학, 식물응용과학부, 생명공학부¹⁾

Lipid Contents Characteristics of Gene Accumulate in Rice

Kyoung Min Yoon, Soon-Kwan Hong^{1)*}

Division of Applied Plant Sciences, Division of Biotechnology¹⁾,

College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chunchon, 200-701, Korea

ABSTRACT

In our experiment, selected mutants were used which showed not only the phenotype of a specific unpolished rice but also phenotypes of EM 40, LO 1050, and TAL 214. Reciprocal crosses between the mutants were conducted to select strains which would have more quantity of lipids than before. The constitution of fatty acid was also tested to figure out nutritional aspects of the mutants. In the crossing between EM 40 mutants and mutants (LO 1050) having a thick aleurone layer, the expression of EM 40 mutants has no relation with the thickness of the aleurone layer. And the lipid content of new F₂ strains through the crossing is 4.15 %. The lipid content is larger than those of the parents including Kinmaze and in other crossings of this experiment. This is attributed to the fact that the new F₂ strains are the products of the crossing between genes responsible for the size of buds, where lipid is accumulated, and genes accountable for the thickness of the aleurone layer. In the crossing between EM 40 mutants and TAL 214 mutants, lipid content of the new F₂ strains is 3.80 %, higher than 2.92 % of TAL 214 mutants. But the degree of lipid increase is smaller than in two other crossings. This is probably because genes expressing the phenotypes of TAL 214 affect the size of EM 40, which gets smaller. The aleurone layer of the new F₂ strains is 12 μm thicker than the layer of TAL 214 mutants, but 6 μm thinner than that of parents (LO 1050) having a thick aleurone layer. This seems to be affected by the size of a microscope. The phenotype of the new F₂ strains appears to be similar to that of TAL 214. The lipid content of the new F₂ strains is 3.85 %, larger than 2.92 % of TAL 214 and 3.01 % of LO 1050. The increase may be due to the aleurone layer of LO 1050. And the size of the bud of the unpolished rice, though it is not big enough like that of LO 1050, seems to be affected by the accumulation of genes in the thick aleurone layer. The accumulation may contribute to the increase in the content of lipid. When it comes to the constitution of fatty acid, there is little difference between parents like Kinmaze and the new F₂ strains. But oleic acid increases while linoleic acid decreases. And the decrease in the linolenic acid seems to contribute to the increase in lipid content. This fact also raises the possibility that genes accountable for specific phenotypes could change the quality of rice if the genes are

accumulated. Now, experiments on strains which have large lipid content in EM 40 type 1(*ge-1*, 3.68 %), EM type 2(*ge-2*, 2.91 %), thick aleurone layer(4.63 %), and starch layer(3.44 %) are under way to figure out the effects of gene accumulation. These experiments are likely to present the ways for increasing the lipid content.

Key words : *Oryza sativa* L., Grain, Giant embryo, Aleuron layer, Reciprocal cross

서언

식물성 지질은 필수지방산인 linoleic 산의 함량이 전반적으로 많으며, 혈액중의 cholesterol 농도의 상승을 막아주는 효과가 있는 것으로 잘 알려져 있다. 최근에 들어서 성인병 예방 차원에서 식물성 지질의 섭취량을 늘리는 것이 건강에 좋다고 하여 linoleic 산에 대한 관심이 높아져 이것의 섭취가 권장되고 있다. 우리나라에서는 특히, 식물성 지질의 경우 대부분을 수입에 의존하고 있는 실정에 있으므로 식물성 지질을 안정적으로 공급하는 것은 우리나라의 건강을 증진시킨다는 측면에서 매우 중요하며, 이에 따른 국내의 자급율을 높이는 것이 무엇보다도 시급한 해결과제라 할 수 있을 것이다. 벼는 우리나라를 포함한 동남아시아 여러 나라들의 주요작물이며, 주곡작물인 벼에서 식물성 지질의 증산을 계획하는 것은 식물성 지질의 자급율을 높일 수 있는 좋은 방법으로 생각되어 진다.

벼의 지질은 linoleic 산의 함유량이 35 ~ 40 %로 옥수수나 목화 등에서 생산되는 지질에 비하여 적기는 하지만, cholesterol을 분해는 작용에 있어서는 다른 어떠한 식물이나 작물들 보다 우수한 것으로 알려져 있다. 또한, 콩이나 유채 등의 지질과 비교하여 볼 때 linolenic 산의 함량이 낮기 때문에 이들 지방산의 산화에 따른 악취의 발생이 적으며, 식용 식물성 지질로는 매우 좋은 질의 것으로 분류되고 있다. 다만, 현미의 경우 지질에 함량이 매우 낮다는(약 3 % 미만) 것이 최대의 난점에 하나이다. 최근, 다양한 성분육종에 대한 연구가 각종 작물에서 활발히 진행되고 있으며, 이와 같은 식물성 지질에 관한 연구도 옥수수(Dudley and Lambert, 1969; Weber, 1979), 목화(Kohel, 1980), 깨(Yermanos *et al.*, 1972), 보리

(Fedak and Roche, 1977; Parsons and Price, 1974), 귀리(Brown and Craddock, 1972) 등에서 연구되어 고지질을 함유한 계통이 많이 육성되어 있다. 이와 같은 식물성 지질에 대한 연구는 양적인 개량과 더불어, 지질의 질적인 개량도 최근에 들어 지방산의 분석이 용이하게 되어 빠른 속도로 연구가 진행되고 있다. 목화의 erucic 산의 함량과 유전에 관련된 변이개체의 선발과 이것을 이용한 육종(Downey, 1964; Downey and Craig, 1964; Harvey and Downey, 1964)은 매우 잘 알려진 것들이다. 그 외에도, 옥수수(Beadle *et al.*, 1965; Plewa and Weber, 1975; Poneleit and Alexander, 1965; Weber, 1978), 벼(Koh *et al.*, 1993; Koh *et al.*, 1996; Song *et al.*, 2000), 콩(Collins and Sedgwick, 1959), 땅콩(Khan *et al.*, 1974; Worthington, 1977a; Worthington 1977b; Worthington and Holley, 1967), 깨(Brar, 1977) 등 많은 작물과 식물들에서 활발히 연구가 진행되고 있다.

벼에 있어서 지질은 지금까지 하나의 생산부산물로 이용되어진 것이 사실이며, 지질함량을 높이기 위한 육종과 같은 것은 소외시 되어온 것이 사실이다. 쌀겨(糠)를 감소시키려는 방향의 연구나, 도정보합을 높이려는 분야의 육종이 대다수를 차지하였다 하여도 과언이 아니며, 사실 이와 같은 연구들은 어느 정도 다양한 성과를 내고 있는 단계에 있다. 따라서, 본 연구는 우선 벼에 있어서 배의 거대화, 호분층의 비대화 및 일부 벼의 소립화에 따라 도정보합을 많은 부분에서 저하시킴으로 현미의 식물성 지질에 품질을 유지하고, 지질함량을 높이는 것이 가능할 것이라는 점에 착안하여, 벼의 식물성 고지질 품종 육종과 육성의 기초적 연구로 일부 유전자 집적에 따른 지질함량의 특성을 조사함에 그 목적이 있다.

재료 및 방법

본 실험에서 사용된 벼의 실험재료인 거대배 돌연변이(EM 40), 두꺼운 호분층 돌연변이(LO 1050) 및 작은립 돌연변이(TAL 214) 계통들은 일본 구주대학(九州大學) 육종학연구실에서 보존중인 계통들이다. 이들 실험재료의 특성을 살펴보면 현미상태에 특이한 형태적 특성을 가졌으며, 지질함량에 있어서도 품종인 Kinmaze (金南風) 2.32 %와 비교하여 높은 지질을 함유하고 있다. 거대배 돌연변이 계통인 EM 40은 지질함량이 3.52 %로 Kinmaze 보다 1.20 %가 많으며, 형태적으로 종자와 배의 크기가 Kinmaze의 경우 5.54 mm와 1.79 mm임에 비하여 5.55 mm와 2.45 mm로 현미의 크기는 0.01 mm가 크나, 배의 크기는 0.66 mm가 커서 현미의 44.5 %를 배가 차지하는 형태적 특성을 보였다. 호분층이 두꺼운 돌연변이 계통인 LO 1050은 지질함량은 3.02 %로 0.70 %가 높으며, 호분층의 두께는 Kinmaze가 27.8 μm 임에 대하여 46.3 μm 로 18.5 μm 정도 호분층이 더 두꺼운 특성을 보였으며, 이것들은 waxy 계통의 돌연변이들이다. 작은립을 형성하는 TAL 214 계통은 Kinmaze의 현미 크기가 5.54 mm임에 비하여 4.38 mm로 1.16 mm가 작으나 지질함량은 2.97 %로 0.65 %가 높았다. 이와 같이 특이한 형태적 특성을 가지고 있는 계통을 이용 식물성 지질함량을 높이고자 이들 상호간의 유전자 집적을 유도하고 이것들에 대한 지질 특성을 조사하기 위하여 각각을 교배모본으로 이용하였다. 이들 교배모본에 대한 교배조합은 EM 40 x LO 1050, EM 40 x TAL 214 및 LO 1050 x TAL 214이었다. 이들 각각의 교배조합에서 F_1 을 얻었고, F_1 에서 다시 얻어진 F_2 에서 각각 두꺼운 호분층이며 거대배, 작은립이며 거대배 및 작은립이며 두꺼운 호분층을 가진 개체들을 선발하여 지질함량과 지방산함량을 측정하였다. 거대배 및 호분층의 두께는 xenia 현상이 나타남으로, 최초의 조합 F_1 개체에 달렸던 종자를 F_2 로 하여 실험에 사용하였다. 한편, 현미의 크기는 영화(穎花)의 크기에 제어를 받게됨으로 xenia을 나타내지 않기 때문에 작은립이 관련된 조합에서는 F_2 개체에 달렸

던 종자를 F_2 로 하여 실험에 사용하였다. 작은립에 있어서는 거대배나, 두꺼운 호분층을 보이 것의 발현을 명확히 알아보기 위하여 TAL 214를 사용하였다.

각각 교배모본은 30°C의 성장상에 1/1,000로 희석한 스포탁에 침지하여 1일간 살균 시킨다음 잘 세척하고, 다시 30°C의 성장상에 1일간 최아를 시키는 방법으로 4월 하순부터 1주일 간격으로 4회에 걸쳐서 기계 이앙용 파종상에 파종하였다. 이앙은 약 1개월간 파종상에서 생육된 각각의 교배모본을 5월 하순부터 역시 1주일 간격으로 4회에 걸쳐 와그너 pot에 이앙하여 유리온실에서 일정하게 생육시켰다. 각각의 교배모본에 대한 이앙개체는 각 이앙단계마다 각 교배모본을 20개체씩 확보하여 재배하였으며, 시비 및 기타 재배관리는 관행법에 준하여 실시하였다.

각각 교배모본의 특정한 표현형에 대한 유전자 집적효과를 도모하기 위한 교배는 교배전일 오후 4시경에 다음날 교배가 가능한 이삭의 영화(穎花)에 대하여 제웅(除雄)을 실시하였다. 교배는 당일 10시경에 전일 제웅을 한 개체를 교배부분이 생육중인 유리온실로 옮겨놓고, 12시경에 교배부분들의 개화시기에 맞추어 교배를 실시하였다. 교배는 각각의 교배모본에 대하여 상호 정역교배를 실시하여 확실한 유전자 집적의 효과를 도모하고자 노력하였다.

교배후 30일이 경과되어 수확된 각각의 교배조합에 대한 F_1 종자들은 배유부분이 충실하지 못한 관계로 확실한 생육을 도모하기 위하여 다음해에 역시 4월 하순경에 70 % ethanol에 30초 처리하여 wax층을 제거하고, 2 %의 sodium hypochlorite 50분간 소독하여 살균한 다음, 호르몬을 첨가하지 않은 MS 배지에 파종하여 7일이 경과한 것 중에 생육이 좋은 것을 우선적으로 선택하여 기계이앙용 파종상에 이식 후 3주일 정도 육묘한 다음, 5월 하순에 30×20 cm의 재식거리로 1주일본식의 형태로 본답에 이앙하여 재배하였다. 시비는 N-P₂O₅-K₂O=10-8-8kg/10a를 분비하였으며, 기타 재배관리는 관행법에 준하여 실시하였다.

수확은 각각 교배조합당 20여 F_2 개체에 대하여 생육형질을 조사하였고, 지질함량은 Soxhlet 추출기를

Table 1. Lipid contents and grain characteristics of giant embryo and thick aleuron layer types in F₂ seeds.

Phenotypes of parent and F ₂	Lipid content (%)	1,000 grain weight (g)	Grain length (mm)	Grain width (mm)	Grain thickness (mm)	Embryo length (mm)	Embryo width (mm)	Embryo thickness (mm)	Aleuron layer thickness (μm)
Parents									
Giant embryo (EM 40)	3.56	18.19	5.57	3.06	2.08	2.53	1.43	1.35	34.5
Thick aleuron layer (LO 1050)	3.01	23.37	5.84	3.08	2.19	1.93	1.25	0.50	44.5
F ₂									
Giant embryo and thick aleuron layer (EM 40 x LO 1050)	4.15	19.58	5.67	2.97	1.93	2.47	1.44	1.31	42.5

이용한 핵산추출법에 의해 측정하였으며, 지방산 조성은 Gas chromatography에 의해 분리 정량하였다.

결과 및 고찰

1. 거대배 · 두꺼운 호분층 개체(F₂)의 특성분석

본 실험에서는 특정한 표현형을 보이는 계통들을 이용하여 유전자의 집적 효과를 얻기 위하여 육종의 가장 기본적인 방법인 교배를 실시하였다. 교배에 사용된 양친계통(EM 40, LO 1050)과 이들의 F₂인 거대배 · 두꺼운 호분층 개체의 현미 형태는 Figure 1에 나타내었다. Figure 1에서와 같이 거대배 · 두꺼운 호분층을 나타내는 F₂ 개체에 현미 형태는 교배모본인 EM 40과 같이 형태적으로 종자와 배의 크기에 있어서 비슷하였다. F₂ 개체를 구체적으로 살펴보면 Table 1에서 나타낸 바와 같이 F₂ 개체의 지질함량은 교배모본 EM 40이 3.56%, LO 1050이 3.01%임에 비하여 4.15%로 각각 대하여 0.59%, 1.14%가 높게 나타났다. 현미의 길이, 현미의 폭 및 현미의 두께는 각각 5.67 mm, 2.97 mm 및 1.93 mm로 교배모본 EM 40 (5.57 mm, 3.06 mm, 2.08 mm)과 LO 1050 (5.84 mm, 3.08 mm, 2.19 mm)에 상응하는 수치를 보였다. 그러나, 배의 형태를 살펴보면 F₂ 개체의 경우 배의 크기, 배의 폭 및 배의 두께가 2.47 mm, 1.44 mm, 1.31 mm로 교배모

본인 EM 40이 2.53 mm, 1.43 mm, 1.35 mm이고, LO 1050이 1.93 mm, 1.25 mm, 0.50 mm임으로 F₂ 개체의 배의 형태는 EM 40 즉, 거대배의 표현형을 따르고 있었다. 호분층의 두께는 42.5 μm로 교배모본 EM 40 34.5 μm, LO 1050 44.5 μm와 비교하여 두꺼운 호분층의 교배모본에 표현형을 보이는 결과를 나타내었다. 1,000립중의 경우는 19.58 g으로 교배모본 EM 40이 18.19 g으로 1.39 g이 무거웠으며, LO 1050은 23.37 g으로 3.79 g이 가벼웠다.

Table 1에 나타낸 결과를 종합하여 보면, 거대배 · 두꺼운 호분층 F₂ 개체의 형태적 특성은 교배양친의 형질발현으로 형태적으로 현미의 크기에는 교배양친과 큰 차이가 없었으나, 배의 크기는 EM 40의 거대배의 표현양식인 배유의 크기가 줄어들고, 배의 배반이 크기가 증가하여 배 전체적인 크기가 커지는 거대배의 표현형을 나타내는 것으로 보아 거대배가 우성적으로 발현하고 있음을 알 수 있었다. 호분층의 발현양식에 있어서는 LO 1050의 두꺼운 호분층에 발현양식인 호분층의 두께가 증가하는 표현형을 나타내었다. 이것은 두꺼운 호분층이 우성적으로 발현하고 있음을 제시하는 결과임을 알 수 있었다. 또한, 본 실험에서 가장 중요한 요인인 지질함량에 있어서는 교배양친보다도 높은 수치인 4.15%를 나타냄으로 앞으로 이것에 이용가치를 시사하였으며, 이



Fig. 1. Phenotype of parents and F₂ seed in brown rice.
P₁: EM 40, P₂: LO 1050, F₂: Giant embryo and thick aleuron layer.

Table 2. Lipid contents and grain characteristics of giant embryo and small grain types in F₂ seeds.

Phenotypes of parent and F ₂	Lipid content (%)	1,000 grain weight (g)	Grain length (mm)	Grain width (mm)	Grain thickness (mm)	Embryo length (mm)	Embryo width (mm)	Embryo thickness (mm)	Aleuron layer thickness (μm)
Parents									
Giant embryo (EM 40)	3.56	18.19	5.57	3.06	2.08	2.53	1.4	1.35	34.5
Small grain (TAL 214)	2.92	10.33	4.38	2.08	1.59	1.63	1.13	0.38	26.8
F₂									
Giant embryo and small grain (EM 40 x TAL 214)	3.80	11.69	4.95	2.43	1.62	2.03	1.14	1.15	29.5

와 같은 결과는 이들 계통간의 유전자 집적의 효과가 있으며 그 결과 지질함량이 상승하는 것으로 판단되었다.

2. 거대배 · 작은립 개체(F₂)의 특성분석

본 실험에서는 종자의 크기를 가능하면 최소화하

면서도 본 실험의 목적인 지질의 함량의 증대를 위하여 특정한 표현형을 보이는 계통간의 유전자 집적을 시키기 위하여 교배를 실시하였다. 교배에 사용된 양친계통(EM 40, TAL 214)과 이들의 F₂인 거대배 · 작은립 개체의 현미 형태는 Figure 2에 나타내었다. Figure 2에서와 같이 거대배 · 작은립의 표현

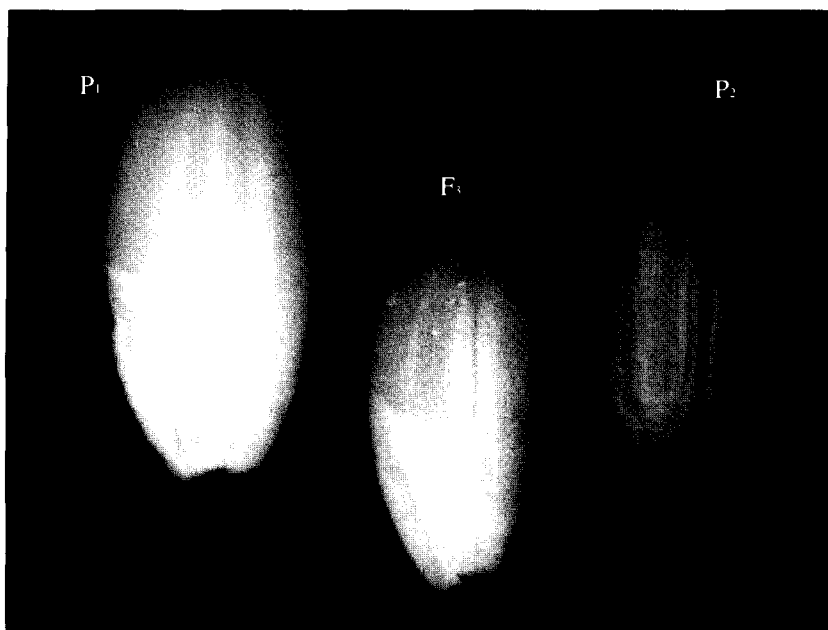


Fig. 2. Phenotype of parents and F₃ brown rice set on F₂ plant.
P₁: EM 40, P₂: TAL 214, F₃: Giant embryo and small grain.

Table 3. Lipid contents and grain characteristics of thick aleuron layer and small grain types in F₂ seeds.

Phenotypes of parent and F ₂	Lipid content (%)	1,000 grain weight (g)	Grain length (mm)	Grain width (mm)	Grain thickness (mm)	Aleuron layer thickness (μm)
Parents						
Thick aleuron layer (LO 1050)	3.01	23.37	5.84	3.08	2.19	44.5
Small grain (TAL 214)	2.92	10.33	4.38	2.08	1.59	26.8
F ₂						
Thick aleuron layer and small grain (LO 1050 x TAL 214)	3.85	11.19	4.52	2.37	1.75	38.5

형을 보이는 F₂ 개체의 현미에 형태는 교배모본 EM 40과 TAL 214의 중간적인 형태를 보이고 있다. 이 거대배·작은립 F₂ 개체를 자세히 살펴보면 Table 2에서 나타낸 바와 같이 현미의 길이, 현미의 폭 및 현미의 두께가 각각 4.95 mm, 2.43 mm, 1.62 mm로 교배모본인 EM 40이 5.57 mm, 3.06 mm, 2.08 mm이고, TAL 214

가 4.38 mm, 2.08 mm, 1.59 mm를 보임으로 현미의 형태는 이들 교배모본의 중간적인 것임을 나타내고 있다. 특히, 배의 형태를 비교하여 보아도 교배모본인 EM 40이 2.53 mm, 1.43 mm, 1.35 mm이고 TAL 214는 1.63 mm, 1.13 mm, 0.38 mm를 보임에 대하여 F₂ 개체의 경우는 2.03 mm, 1.41 mm, 1.15 mm로 역시 교배모본의

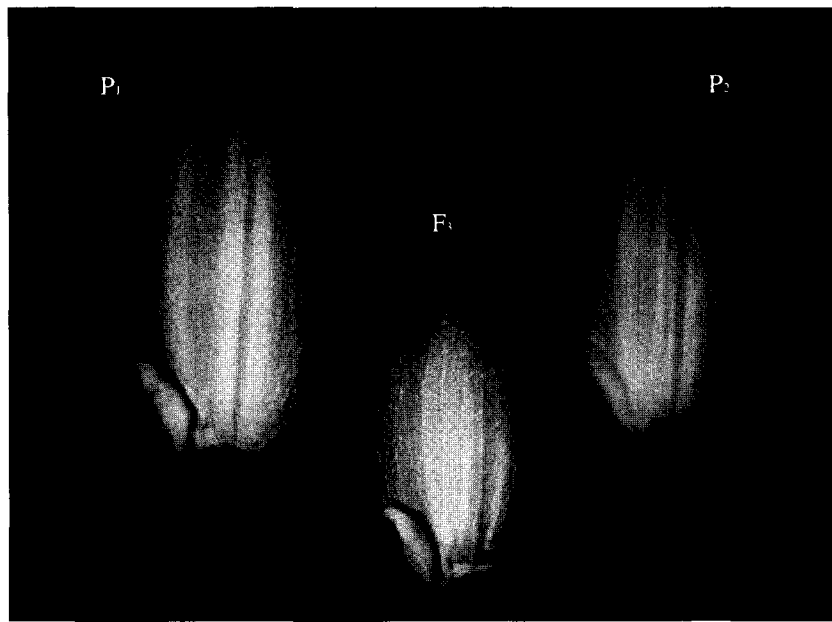


Fig. 3. Phenotype of parents and F₃ brown rice set on F₂ plant.
P₁: LO 1050, P₂: TAL 214, F₃: Small grain and thick aleuron layer.

Table 4. Effect of combinations of giant embryo, thick aleuron layer or small grain on fatty acid composition.

Phenotypes of parent and F ₂	Fatty acid composition (%)								
	Myristic acid	Palmitic acid	Palmitoleic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid	Linolenic acid	Arachidi acid	Others
Kinmaze	0.6	19.1	0.3	2.4	37.6	37.7	2.2	0.5	0.1
Parents									
Giant embryo (EM 40)	0.3	18.5	0.3	2.7	41.2	34.7	1.5	0.6	0.3
Thick aleuron layer (LO 1050)	0.6	17.7	0.2	2.4	40.5	36.3	1.8	0.5	0.2
Small grain (TAL 214)	0.3	21.0	0.3	1.5	41.9	32.7	1.2	0.6	0.5
F₂									
Giant embryo and thick aleuron layer	0.2	16.9	0.2	3.0	41.6	35.2	1.7	0.7	0.5
Giant embryo and small grain	0.6	17.3	0.3	1.9	41.7	35.7	1.8	0.6	-
Thick aleuron layer and small grain	0.2	18.7	0.2	1.7	44.2	32.8	1.6	0.4	0.3

중간적인 표현형을 나타내었다. 호분층의 두께에 있어서도 교배모본 EM 40이 34.5 μ m, TAL 214가 26.8 μ m인데 대하여 F₂ 개체는 29.5 μ m를 보임으로 역시 교배모본의 중간적 표현형을 나타내었다. 그러나, 1,000립중의 경우는 교배모본 EM 40이 18.19 g과 TAL 214가 10.33 g을 보임에 대하여 F₂ 개체는 11.69 g로 작은립 계통처럼 가벼운 표현형을 나타냈다. 본 실험의 중요한 요인으로 작용하는 지질함량은 F₂ 개체가 3.80 %로 교배모본 EM 40이 3.65 %, TAL 214가 292 %임에 비하여 상승되는 결과를 보였다.

Table 2에서 나타낸 바와 같이 거대배 · 작은립 F₂ 개체의 특성은 교배양친의 형질이 동등히 발현하여 현미의 크기, 배의 크기 및 호분층의 두께에 있어서 교배양친의 중간적인 표현형을 보였으며, 1,000립중은 작은립에 상응하게 가벼워지는 결과를 보어 1,000립중은 작은립의 경우가 우성임을 알 수 있었다. 거대배 · 작은립 F₂ 개체의 지질함량에 있어서는 교배양친보다도 높은 수치인 3.80 %를 보임으로 목적으로 하는 유전자 집적의 효과가 이들의 계통간에도 있음을 알 수 있었으며, 이와 같은 효과에 따른 결과로 지질함량이 상승한 것으로 판단되었다.

3. 두꺼운 호분층 · 작은립 개체(F₂)의 특성분석

본 실험에서는 현미의 크기는 작으나 호분층이 두꺼운 것을 생산하여 지질함량이 높아지는 유전자 집적의 효과를 도모하여 보고자 Figure 3에서와 같이 특정한 표현형을 보이는 교배모본을 이용하여 계통간의 교배를 실시하였다. 교배에 사용된 교배모본은 재료 및 방법에서 이미 언급하였듯이 Kinmaze에 비하여 18.5 μ m가 더 두꺼운 호분층을 보이는 LO 1050과 Kinmaze에 비하여 1.16 mm나 작은립의 현미를 형성하는 TAL 214를 사용하였다. 이들의 두꺼운 호분층 · 작은립 F₂ 개체의 현미 형태는 작은립 교배모본 TAL 214에 상응되는 표현형을 나타내었다. 또한, F₂ 개체의 현미의 표면은 외관적으로 두꺼운 호분층 교배모본과 흡사한 표현형을 나타내었다. 이와 같은 F₂ 개체의 형태적 특성과 지질함량에 대하여 Table 3에 나타내었다. F₂ 개체의 표현형을 자세히 살펴보면 현미의 길이, 현미의 폭 및 현미의 두께가

4.52 mm, 2.37 mm, 1.75 mm로 교배모본 LO 1050이 5.84 mm, 3.08 mm, 2.19 mm를 나타내었고 TAL 214가 4.38 mm, 2.08 mm, 1.59 mm를 나타냄으로 F₂ 개체는 TAL 214에 상응되는 표현형을 보였다. F₂ 개체의 호분층의 외관은 LO 1050과 비슷하였으나, 호분층의 두께는 교배모본 LO 1050이 44.5 μ m, TAL 214가 26.8 μ m임에 대하여 38.5 μ m로 중간적인 결과의 표현형을 보였다. 1,000립중은 교배모본 LO 1050이 23.37 g, TAL 214가 10.33 g에 대하여 F₂ 개체는 11.19 g로 작은립을 형성하는 TAL 214에 상응하는 것으로 보아 현미의 크기와 큰 상관관계가 있는 것으로 판단된다. 그러나, 최종적으로 가장 중요한 지질함량의 결과는 교배모본 LO 1050이 3.01 %, TAL 214가 2.92 %에 대하여 F₂ 개체는 3.85 %로 교배모본들에 비하여 높은 수치를 나타내었다. 이와 같은 결과는 현미의 크기는 작은 것이 큰 것에 대하여 우성적으로 작용하고 있음을 알 수 있었으며, 호분층은 중간적인 표현형을 보였으나 이들의 계통간에 유전자 집적의 효과로 F₂ 개체에서는 그 지질함량이 높은 개체를 형성하여 발현되고 있는 것으로 판단되었다.

4. 교배조합에 대한 지방산 분석

벼에 현미의 각 부위중 지질함량이 가장 많은 곳은 역시 배 부분이고, 그 다음이 호분층이며 전분층에는 극소량이 존재하는 것으로 알려져 있다 (Choudhury and Juliano, 1980; Fujino, 1978; Juliano, 1985; 松尾 *et al.*, 1987). 벼의 영양특성으로 작용하는 것은 지질함량과 지방산조성으로, 지질함량에 대해서는 Table 1, 2, 3에 나타내었고, 본 실험에서는 각각의 교배모본들과 그들의 교배조합에 의한 F₂ 개체들에 대하여 지방산 조성을 조사하여 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 지방산 조성은 품종인 Kinmaze와 각각의 교배모본들과 각각 교배조합에 대한 F₂ 개체들을 비교하여 보면 지방산중 특히, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid의 조성함량에는 큰 차이를 보이고 있으나, 그외의 myristic acid, palmitic acid, palmitoleic acid, stearic acid, arachidic acid 등은 미미한 차이를 보이고 있다.

이와 같은 결과를 자세히 살펴보면 oleic acid의 경

우 Kinmaze가 37.6 %임에 대하여 EM 40이 41.7 %, LO 1050이 40.5 %, TAL 214가 41.9 %로 많은 표현형을 보이는 계통이었으며, 각각의 F₂ 개체들의 경우는 EM 40 x LO 1050은 41.6 %, EM 40 x TAL 214은 41.7 %로 교배모본에 상응하는 조성함량을 보였으나, LO 1050 x TAL 214는 44.2 %로 각각의 교배모본과 다른 두 개의 교배조합보다도 2 ~ 3 %가 높은 지방산 조성함량을 보였다.

Linoleic acid의 경우는 Kinmaze가 37.7 %인 것에 비하여 교배모본인 EM 40이 34.7 %, LO 1050이 36.3 %, TAL 214가 32.7 %을 보였으며, 각각의 교배조합인 EM 40 x LO 1050이 35.2 %, EM 40 x TAL 214가 35.7 %, LO 1050 x TAL 214가 32.8 %로 낮아지는 표현형을 보였다. Table 4의 결과에서 linoleic acid의 경우는 현미의 크기와 특히, 배유의 크기가 그 조성함량에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다. 즉, 작은립(TAL 214)의 경우가 가장 적은량을 함유하고 있으며, 다음으로 배유의 부분이 많이 축소된 거대배 계통이며, 두꺼운 호분층 계통은 품종인 Kinmaze와 비교하여 1.4 % 정도만이 감소되는 결과를 보인 것으로 여겨진다. 이와 같은 결과는 교배조합에서도 나타나는데 LO 1050 x TAL 214는 32.8 %로 가장 낮았는데 이는 작은립의 표현형에 의한 현미의 크기가 축소된 것에 기인하다고 여겨진다. 다음으로 EM 40 x LO 1050으로 현미의 크기와 현미중의 배유의 부분이 축소된 결과 linoleic acid의 조성함량도 줄어든 것으로 판단된다. EM 40 x TAL 214의 경우는 현미의 크기와 현미중 배유의 크기가 줄었으나 각각의 특정한 표현형의 유전자의 집적과정에 있어서 그 정도를 시사하고 있음으로 여겨진다.

Linolenic acid의 경우는 품종인 Kinmaze가 2.2 %인 것에 대하여 각각의 교배모본과 각각의 교배조합들은 1.2 ~ 1.8 %의 조성함량을 보여 0.4 ~ 1.0 %의 차로 감소하는 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 본 실험에서 사용한 특정한 표현형을 보이는 형질만으로는 그 원인을 규정할 수는 없을 것으로 여겨진다. 그러나, linolenic acid의 감소는 본 실험의 주요목적인 지질의 함량의 증대와 더불어 중요한 요인으로 지방산 산화에 따른 악취의 발생을 줄일 수 있는 효과가

있어 식물성 지질로는 좋은 질의 것으로 판단된다. 이와 같은 결과들은 특정한 표현형을 보이는 형질에 대한 유전자 집적의 효과가 누적된 것으로 판단되어 차후의 다른 형질에 대한 연구에도 많은 도움을 줄 것으로 판단된다.

적요

특정한 현미의 표현형을 보이며, 지질함량이 원 품종인 Kinmaze 보다는 높은 거대배(EM 40)와 두꺼운 호분층(LO 1050)과 현미의 립형이 작은립(TAL 214)에 표현형을 나타내는 돌연변이 계통들을 이용하였다. 이것들 간에 특정한 유전자의 집적을 유도하고 상호 정역교배(Reciprocal cross)를 실시하였으며, 그 결과에 따라 지질함량이 높아지는 계통을 선발하고 이용할 목적으로 본 실험을 수행하였다. 또한 일부 영양적인 측면에 대한 특성도 조사하여 보고자 지방산 조성에 대해서도 측정하였다. 이들 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 거대배 돌연변이와 두꺼운 호분층 돌연변이 계통간의 교배조합에서는 거대배의 발현은 호분층의 두께와는 아무런 영향이 없는 것으로 나타났으며, 거대배 · 두꺼운 호분층 F₂ 개체의 지질함량은 4.15 %을 나타내었다. 이와 같이 높은 지질함량 수치는 Kinmaze을 포함 각각의 교배모본들에 지질함량과 본 실험에서 사용된 다른 어느 교배조합 보다도 높은 함량수치를 나타내었다. 높은 지질함량을 보이는 원인으로서는 지질의 경우 현미의 배부분에 많이 축적되는 것으로 알려져 있으므로, 거대배 · 두꺼운 호분층 F₂ 개체는 배의 크기를 크게하는 유전자와 호분층을 두껍게 하는 유전자의 집적에 의한 결과로 그 조건을 충분히 갖춘 것으로 판단된다.

2. 거대배 돌연변이와 작은립의 교배조합에서는 거대배 · 작은립 F₂ 개체의 지질함량이 3.80 %으로 작은립 교배모본의 2.92 %보다 0.88 %가 높게 나타났지만, 지질함량 증가의 정도는 다른 2개의 교배조합에 비하여 낮게 나타났다. 이러한 이유로는 작은립의 표현형을 보이는 유전자의 영향으로 인하여 거대배가 원래의 배의 크기에 비해 조금 작아진 것에

기인한 것으로 여겨진다.

3. 두꺼운 호분층 · 작은립 F₂ 개체의 호분층에 두께는 작은립의 교배모본에 비하여 12 μm가 두껍게 나타났으나, 두꺼운 호분층의 교배모본에 비해서는 6 μm가 얇게 나타났는데, 이와 같은 결과는 호분층의 두께는 현미의 크기에 일부 영향을 받는 것으로 여겨진다. 두꺼운 호분층 · 작은립 F₂ 개체에 현미의 표현형은 TAL 214과 같은 작은립의 표현형을 보인 것으로 여겨진다.

4. 지질함량의 경우는 3.85 %로 각각의 교배모본 TAL 214 2.92 %, LO 1050 3.01 %에 비하여 0.93 %, 0.84 %가 증가한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 LO 1050의 호분층에 의한 영향으로 여겨지며, 현미의 배의 크기는 LO 1050 만큼 크지는 않아도 두꺼운 호분층의 유전자 집적의 효과가 있는 것으로 판단된다. 지질함량이 상승시키는데도 이와 같은 유전자 집적의 효과가 유효할 것으로 여겨진다.

5. 지방산 조성은 있어서는 품종인 Kinmaze와 각각의 교배모본의 계통과 이들 F₂ 개체에는 그 차이가 유의성을 보일 정도는 아니었다. 그러나, oleic acid의 일부 증가와 linoleic acid의 미미한 감소되는 경향을 보였다. Linolenic acid도 감소는 본 실험의 최종적 결과인 지질함량 증가와 더불어 현미의 지질이용에 도움을 주는 것으로 지방산 조성에도 특정한 표현형의 형질은 유전자 집적에 따른 품질의 변화를 시킬 수 있다는 가능성을 제시하고 있다고 여겨진다.

6. 현재, 거대배 1형(*ge-1*, 3.68 %), 거대배 2형(*ge-2*, 2.91 %), 두꺼운 호분층(4.63 %), 전분층에 지질함량이 많은 것(3.44 %)등 다양한 표현형을 보이는 여러 가지 계통에 대하여 유전자 집적을 효과를 조사하고 있으므로 벼의 지질함량이 많은 쪽으로 증대되는 것에 기대를 하고 있다.

감사의 글

본 연구를 수행함에 있어서 여러모로 실험을 도와주시고 아낌없는 조언을 주신 강원대학교 농업생명과학대학 부속농장의 직원 여러분들에게 진심으로 감사의 말씀을 전하고자 합니다.

인용문헌

Beadle J.B., Just D.E., Morgan R.R. and Reiner R.A.. 1965. Composition of corn oil. JAOCS. 42: 90-95.

Brar G.S.. 1977. Inheritance of oil composition in sesame (*Seasmum indicum* L.). Dissertation Abstracts International, B 38(1): 60B-61B.

Brown C.M. and Craddock J.C.. 1972. Oil content and groat weight of entries in the world oat collection. Crop Sci. 12: 514-515.

Choudhury N.H. and Juliano B.O.. 1980. Lipids in developing and mature rice grain. Phytochemistry 19: 1063-1069.

Collins F.I. and Sedgwick V.E.. 1959. Fatty acid composition of several varieties of soybeans. JAOCS. 36: 641-644.

Downey R.K.. 1964. A selection of *Brassica campestris* L. containing no erucic acid in its seed oil. Can. J. Plant Sci. 44: 295.

Downey R.K. and Craig B.M.. 1964. Genetic control of fatty acid biosynthesis. JAOCS. 41: 475-478.

Dudley J.W. and Lambert R.J. 1969. Genetic variability after 65 generations of selection in Illinois high oil, low oil, high protein, and low protein strains of *Zea mays* L. Crop Sci. 9: 179-181.

Fedak G. and Roche I.D.. 1977. Lipid and fatty acid composition of barley kernels. Can.J. Plant Sci. 57: 257-260.

Fujino Y.. 1978. Rice lipids. Cereal Chem. 55(5): 559-571.

Harvey B.L. and Downey R.K.. 1964. The inheritance of erucic acid content in rapeseed (*Brassica napus*). Can. J. Plant Sci. 44: 104-111.

Juliano B.O.. 1985. Rice-Chemist and Technology. AACC Monograph Series, pp. 17-174.

Khan A.R., Emery D.A. and Singleton J.A.. 1974. Refractive index as a basis for assessing fatty acid composition in segregating populations derived from

- intraspecific crosses of cultivated peanuts. *Crop Sci.* 14: 464-468.
- Koh H.J., Park S.Z., Won Y.J. and Heu M.H.. 1993. Nutritional and agronomic characteristics of super-giant embryo mutant in rice. *Korean J. Crop Sci.* 38(6):537-544.
- _____, Heu M.H. and McCouch S.R.. 1996. Molecular mapping of the *ge^s* gene controlling the super-giant embryo character in rice (*Oryza sativa* L.). *Theor. Appl. Genet.* 93: 257-261.
- Kohel R.J.. 1980. Genetic studies of seed oil in cotton. *Crop Sci.* 20: 784-787.
- Parsons J.G. and Price P.B.. 1974. Search for barley (*Hordeum vulgare* L.) with higher lipid content. *Lipids.* 9: 804-808.
- Plewa M.J. and Weber D.F.. 1975. Monosomic analysis of fatty acid composition in embryo lipids of *Zea mays* L. *Genetics* 81: 277-286.
- Poneleit C.G. and Alexander D.E.. 1965. Inheritance of linoleic and oleic acids in maize. *Science* 147: 1585-1586.
- Song J., Song J.C., Kim S.L., Hwang J.J., Hong H.C. and Lim S.J.. 2000. Comparison of quality characteristics of some endosperm mutant rices. *Korean J. Breed.* 32(2): 199-204.
- Weber E.J.. 1978. Corn lipids. *Cereal Chem.* 55: 572-584.
- _____. 1979. The lipids of corn germ and endosperm. *JAOCS.* 56: 637-641.
- Worthington R.E.. 1977a. Variability in fatty acid composition among *Arachis* genotypes: A potential source of product improvement. *JAOCS.* 54: 105A-108A.
- _____. 1977b. The linolenic acid content of peanut oil. *JAOCS.* 54: 167-169.
- Worthington R.E. and Holley K.T.. 1967. The linolenic acid content of peanut oil. *JAOCS.* 44: 515-516.
- Yermanos D.M., Hemstreet S., Saleeb W. and Huszar C.K.. 1972. Oil content and composition of the seed in the world collection of sesame introductions. *JAOCS.* 49: 20-23.
- 松尾 巧, 佐藤 光, 尹 景民, 木村 武 1987. イネ巨大胚突然變異系統の含油量と脂肪酸組成. *育雜* 37: 185-191.

(접수일 2002. 7. 4)

(수락일 2002. 9.20)