

콩 RIL 집단의 내탈립성 변이 탐색 및 유망계통 선발

서정현^{1,†} · 강범규¹ · 김현태¹ · 김홍식² · 최만수³ · 오재현¹ · 신상욱¹ · 백인열² · 광도연²

Variation in Pod Shattering in a RIL Population and Selection for Pod Shattering Tolerance in Soybean [*Glycine max* (L.) Merr]

Jeong Hyun Seo^{1,†}, Beom Kyu Kang¹, Hyun Tae Kim¹, Hong Sik Kim², Man Soo Choi³, Jae Hyeon Oh¹, Sang Ouk Shin¹, In Youl Baek², and Do Yeon Kwak²

ABSTRACT Pod shattering during the maturing stage causes a serious yield loss in soybean. It is the main limiting factor of soybean cultivation and mechanization. It is important to develop varieties suitable for mechanical harvesting and to develop energy-efficient agricultural machinery to save labor and costs. ‘Daewonkong,’ developed by the National Institute of Crop Science (NICS) in 1997, is an elite cultivar that occupies more than 80% of the soybean cultivation area in Korea because of its strong tolerance to pod shattering. The objectives of this study were to investigate the variation in pod shattering degree in a RIL population developed from a ‘Daewonkong’ parent and to select promising lines with pod shattering tolerance. ‘Daewonkong’ demonstrated a high level of tolerance to pod shattering compared to the ‘Tawonkong’ and ‘Saeolkong’ varieties, with no shattered pods after 72 hours of drying. Screening of pod shattering showed a clear distinction between the tolerant and susceptible varieties. Also, the distribution of shattering pod ratio in the two populations showed a similar pattern for three years. The promising lines with pod shattering tolerance included 27 lines in the ‘Daewonkong’×‘Tawonkong’ population and 21 lines in the ‘Daewonkong’×‘Saeolkong’ population. The promising lines are expected to be widely used as breeding parents for creating soybean cultivars with pod shattering tolerance.

Keywords : Daewonkong, pod shattering, RIL, soybean

콩의 성숙기 탈립은 식물의 자연스러운 종자번식의 한 형태로서 다양한 환경에 적응하기 위한 식물체의 기작으로 생각되며(Funatsuki *et al.*, 2008), 특히 야생콩(*Glycine soja* Sieb. et Zucc.)의 경우 탈립에 매우 취약한 특성을 나타낸다(Suzuki *et al.*, 2010; Funatsuki *et al.*, 2014). 하지만 작물로서 콩이 재배되기 시작하면서 이러한 성숙기 탈립 문제는 종자 수확 시에 심각한 수량손실의 원인이며, 수확작업의 제한요인이 되어 입모관리와 함께 중요한 콩 재배기피 원인이 되고 있다. 최근에는 농촌 인구 고령화와 농업 인구

수 감소로 노동력 절감을 위한 기계화 재배에 맞는 콩 품종이 요구되면서 콩의 성숙기 탈립 문제는 식물체의 쓰러짐과 함께 가장 해결되어야 할 불량 형질로 간주되고 있다.

식물체의 탈립 현상은 꼬투리가 달리는 작물인 두과작물이나 십자화과작물에서 발견된다. *Arabidopsis thaliana*에서는 탈립 저항성인 돌연변이체를 통하여 유전연구가 수행되었고, 이에 따라 성숙기에 식물체의 꼬투리 이층의 결합부를 강화하여 탈립에 저항성이 나타난다는 것이 알려졌다(Liljegren *et al.*, 2000; Mitsuda *et al.*, 2008; Ogawa *et al.*,

¹농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부 발작물개발과 농업연구소 (Researcher, Upland Crop breeding Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

²농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부 발작물개발과, 농업연구소관 (Senior Researcher, Upland Crop breeding Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

³농촌진흥청 국립식량과학원 작물기초기반과 농업연구소 (Researcher, Crop Foundation Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

[†]Corresponding author: Jeong Hyun Seo; (Phone) +82-55-350-1236; (E-mail) next0501@korea.kr

<Received 14 October, 2019; Revised 10 November, 2019; Accepted 13 November, 2019>

2009). 콩에서는 야생콩으로부터 콩이 작물로서 재배되기 시작하면서 수확기에 식물체에서 탈립 되지 않은 개체가 선발되어 이듬해에 종자로서 활용 되는 식의 자연 선발과정이 진행 되었고, 이에 따라 재배종 콩은 야생콩에 비해 성숙기 탈립에 저항성인 방향으로 유전되어 왔을 것으로 추정하고 있다(Hancock, 2004; Fuller, 2007).

‘대원콩’(Kim *et al.*, 1998a)은 1997년에 국립식량과학원에서 개발한 품종으로 수량이 낮고 쓰러짐이나 불마름병 등 병해에 취약한 특성을 가지고 있으면서도 성숙기 탈립에 매우 강한 특성을 나타내어 현재까지도 우리나라 가장 널리 보급되고 있는 우량품종이다. 따라서 향후 콩 육종 프로그램은 ‘대원콩’ 수준의 탈립성을 가지면서 수량성, 내병성, 품질 등의 형질이 보완된 품종을 개발하여 ‘대원콩’을 대체하는 것을 목표로 진행될 예정이다. 성숙기가 빠른 단기성콩, 재래종 검정콩 등은 특히 탈립에 매우 취약한 특성을 나타내는데, ‘대원콩’의 내탈립성에 대한 유전적 해석을 통하여 ‘대원콩’ 수준의 내탈립성을 갖는 유색콩, 단기성콩 등의 중간모본 개발로 수량 손실을 최소화 할 수 있을 것으로 기대된다.

현재까지 국내 콩 품종개발에서 내탈립성은 그 중요성이 인정되면서도 초기세대에서 명확한 유전적 지식 없이 육종가의 판단으로 선발해왔다. 콩의 탈립성에 대한 QTL 분석 등 유전연구는 오래전부터 진행되어 왔고(Bailey *et al.*, 1997; Funatsuki *et al.*, 2006; Funatsuki *et al.*, 2008; Kang *et al.*, 2008) 이에 따라 소수의 유전자로부터 저항성이 유전된다는 것이 밝혀졌다. 2010년 ‘Williams82’ 품종에 대한 콩의 표준 유전체 해독이 완료된 이후로(Schmutz *et al.*, 2010), SNP칩 개발, NGS분석 등 유전 분석 기술이 높은 수준으로 발달하게 되었고, 콩의 내탈립성에 대한 유전 연구가 급속히 진전되었다. 이 결과로 콩의 탈립성이 성숙기 건조 시에 꼬투리의 과도한 목질화에 의해 나타나며, 16번 염색체 상에 존재하는 *SHAT1-5* 유전자가 2세포벽 생합성을 활성화하여 꼬투리 봉합부 결합력을 향상시켜 내탈립성을 강화하고(Dong *et al.*, 2014), *pdh1* 유전자가 건조 시 콩 꼬투리의 비틀림을 유도하여 탈립을 촉진시키는 것이 밝혀졌다(Funatsuki *et al.*, 2014).

국내에서는 내탈립성 품종인 ‘신팔달콩’(Hong *et al.*, 1992)을 부분으로 하는 집단을 대상으로 내탈립성 관련 유전분석이 수행되어 ‘신팔달콩’의 내탈립성이 *pdh1* 유전자에 의한 것으로 밝혀졌고, 해당 RIL 집단에 특이적인 SNP마커를 개발하기도 하였으나(Lee *et al.*, 2017), ‘대원콩’ 유래의 내탈립성 연구는 아직까지 수행되지 않았다. 따라서, 본 연구의 목적은 ‘대원콩’을 모본으로 한 고세대 RIL 집단을 육

성하여 집단 내에 내탈립성 변이를 조사하고, ‘대원콩’ 수준의 내탈립 특성을 가지는 유색콩, 단기성콩 유망계통을 선발하고자 하는 것이었다.

재료 및 방법

집단 육성

내탈립성 품종인 ‘대원콩’을 모본으로 하고 감수성인 검정콩 품종 ‘다원콩’(Kim *et al.*, 1998b)과 단기성 콩인 ‘새울’(Baek *et al.*, 1998)을 부분으로 인공교배를 실시하여 두 조합의 F₁, F₂ 집단을 육성하였다. F₃ 이후에는 SSD로 전개하여 세대를 진전시켰으며, ‘16년부터’ 18년까지 연차별로 F₆, F₇, F₈ 세대의 재조합자식계통(recombinant inbred lines, RILs) 집단을 육성하였다. 육성된 두 조합의 RIL 집단에서 3년간 연차별로 각 집단의 모·부분 및 ‘대원콩’×‘다원콩’ 조합에서 154계통, ‘대원콩’×‘새울’ 조합에서 153계통에 대하여 실내 내탈립성 검정을 수행하였다.

내탈립성 검정

2016년부터 2018년까지 3년간 두 집단의 모·부분 및 전체 307계통에 대한 실내 내탈립성 검정을 수행하였다. 시험구는 완전임의배치법 1반복으로 배치하였으며, 각 계통에서 성숙기(RDA, 2012)에 성숙된 협을 2반복으로 채취하여 상온에서 일주일간 치상 후 성숙기를 일치시켰다. 상온 치상 후 40°C 건조기에 건조하여 24시간, 48시간, 72시간 후 개열한 협의 비율(개열한 협의 수/채취한 협의 수×100%)을 구하였고(Kang *et al.*, 2005), 1년차에는 성숙된 협 5개, 2, 3년차에는 성숙된 협 10개를 각각 2반복으로 채취하여 동일한 방법으로 실험을 수행하였다.

생육특성 조사

각 집단의 모·부분 및 ‘16-’17년도 실내 내탈립성 검정에서 개열된 협의 비율이 0%로 조사되었던 내탈립성 71계통에 대하여 작물학적특성을 조사하였다. 생육조사는 국립식량과학원 남부작물부 내의 콩 시험 포장(경상남도 밀양시, 위도 35.5, 경도 128.7)에서 수행하였고, 시험구는 완전 임의배치법 1반복으로 배치하였다. 계통 당 5개의 개체에서 생육조사를 수행하였으며, 생육특성은 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2012)에 따라 개화기, 경장, 착엽고, 마디수, 분지수, 협수 등을 조사하였다. 재배방법은 재식거리 이랑 간 간격 70 cm, 주 간 간격 15 cm, 1주 2본으로 재배하였고, 비료는 N:P:K = 3:3:3.4에 준하였고, 퇴비는 10 a 당 1톤을 사용하였다.

내탈립성 유망계통 선발

3년간 수행한 실내 내탈립성 검정에서 건조기에서 72시간 건조 후 개열한 협의 비율이 0%인 계통을 선발한 후 생육특성 조사 결과와 종합하여 내탈립성 유망계통을 선발하였다. 각 집단에서 ‘대원콩’ 수준의 내탈립성을 가지면서 종피색이 유색인 계통과 개화기 및 성숙기가 빠른 단기성 계통을 선발하였다.

통계 분석

건조 시간대별 집단 간 탈립률 상호비교를 위해 각 집단 평균에 대한 t-검정을 수행하였고, 유전형 및 연차 반복이 탈립률 변이에 영향을 미친 유의성을 확인하기 위하여 연차별 전체 307계통의 분산분석(analysis of variance)과 건조 시간별, 연차별 탈립률을 통한 상관분석(correlation analysis)을 수행하였다. 분산분석 결과를 통하여 시험 연차에 따른 광의의 유전력(broad-sense heritability, h^2)을 산출하였고(Toker, 2004), 산출식은 다음과 같다:

$$\begin{aligned} \text{표현형 분산 } (\sigma_p^2) &= \sigma_g^2 + (\sigma_{gy}^2/y) + (\sigma_e^2/ry), \\ \text{유전력 } (h^2) &= \sigma_g^2/\sigma_p^2 \end{aligned}$$

(g: 유전형, y: 연차, r: 반복, σ_g^2 : 유전형 분산, σ_{gy}^2 : 유전형 × 연차 분산, σ_e^2 : 오차 분산)

또한 탈립 저항성으로 선발된 6계통 및 모·부분 3품종 간 생육특성 비교를 위하여 던컨의 다중 검정(Duncan’s multiple range test)을 수행하였다. 모든 통계 분석은 R program version 3.6.0 (The R Core Team, free software)을 이용하였다.

결과 및 고찰

건조 시간에 따른 내탈립성 변이

건조 시간별 실내 내탈립성 검정 결과 저항성 품종인 ‘대

원콩’은 3년간 건조 후 모든 건조 시간에 개열한 협의 비율이 0%로 저항성을 나타내는 반면, 부분인 ‘새울’은 모든 건조 시간에 개열한 협의 비율이 100%로 감수성을 나타내었다. ‘다원콩’은 24, 48시간에 중도 저항성(30, 40%)을 나타내었으나, 72시간 후 3년 평균 개열한 협의 비율이 80%로 감수성을 나타내었다(Fig. 1). 건조기에서 24, 48, 72시간 후 개열한 협의 비율이 0%인 저항성 계통은 ‘대원콩’×‘다원콩’ 조합에서 각각 57, 39, 26계통이었으며, ‘대원콩’×‘새울’ 조합에서 각각 52, 35, 21계통이었다(Table 1). ‘다원콩’보다 ‘새울’이 초기 시간대에 더 탈립에 약한 특성을 나타내었고(Fig. 1), 각 집단 간 건조 시간별 탈립률을 비교하였을 때 ‘대원콩’×‘새울’ 집단이 초기 시간대(24, 48시간)에 탈립률이 더 높은 것으로 나타나 탈립에 약한 것으로 판단되었다. 하지만 건조 72시간 후의 탈립률은 두 집단에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 2). 건조 72시간 후의 두 집단에서 탈립률에 유의한 차이가 없었던 점과 건조 시간이 길어질수록 저항성인 계통과 감수성인 계통의 차이가 뚜렷하게 된다는 점을 감안하여 건조 72시간 후 개열한 협의 비율이 0%인 계통을 지표로 저항성인 계통을 선발할 수 있었다(Table 1).

연차별 내탈립성 변이

시험 연차별 건조 72시간 후 개열한 협의 비율 또한 저항성 계통과 감수성 계통이 뚜렷하게 구분되는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 연차 간 비슷한 양상을 나타내었다(Fig. 2). 저항성 품종인 ‘대원콩’은 3년간 건조 72시간 후 개열한 협의 비율이 0%로 탈립에 매우 강한 특성을 나타내었고, 감수성인 ‘다원콩’은 개열한 협의 비율이 3년 평균 80%, ‘새울’은 100%로 탈립에 약한 특성을 나타내었다(Fig. 2). 각 연차별로 저항성 계통은 ‘대원콩’×‘다원콩’ 조합에서 ’16년, ’17년, ’18년 각각 57, 50, 36계통이었고, ‘대원콩’×‘새울’ 조합에서 42, 53, 24계통이었다(Fig. 2).

‘대원콩’을 모본으로 한 두개의 RIL집단에서 내탈립성

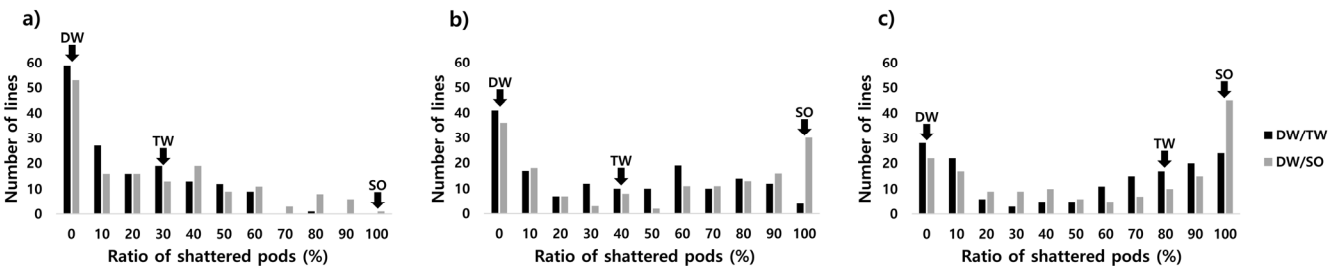


Fig. 1. Frequency distribution for pod shattering in the two RIL populations derived from ‘Daewonkong’ (DW) × ‘Tawonkong’ (TW) and ‘Daewonkong’ × ‘Saeolkong’ (SO) after pod drying; a) for 24 h, b) for 48 h, c) for 72 h.

Table 1. Comparison of the ratio of average pod shattering potential of two populations in the pod drying test over three years.

Percentage of shattered pods (%) ^z	Number of lines					
	Daewonkong/Tawonkong			Daewonkong/Saeolkong		
	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
0	57	39	26	52	35	21
10	28	18	23	16	18	17
20	16	7	6	16	7	9
30	18	12	3	13	3	9
40	13	9	5	19	8	10
50	12	10	5	9	2	6
60	9	19	11	11	11	5
70	0	10	15	3	11	7
80	1	14	16	8	13	10
90	0	12	20	6	16	15
100	0	4	24	0	29	44
Total	154	154	154	153	153	153

^zMean value of the ratio of shattered pods after drying test for three years. The ratio of shattered pods was calculated by dividing the number of shattered pods by the total number of pods at different pod drying periods over three years

Table 2. Comparison of the ratio of average pod shattering between two populations at different pod drying periods over three years.

Combination ^z	24 h	48 h	72 h
D × T	16.5	35.7	49.1
D × S	25	47.8	53.8
t-value ^y	-3.25**	-2.99**	-1.09 ^{ns}

^zCombination information; D: ‘Daewonkong’, T: ‘Tawonkong’, and S: ‘Saeolkong’

^y**denotes significantly different between the populations at $p < 0.01$ by student t-test, ns denotes there was no significant difference

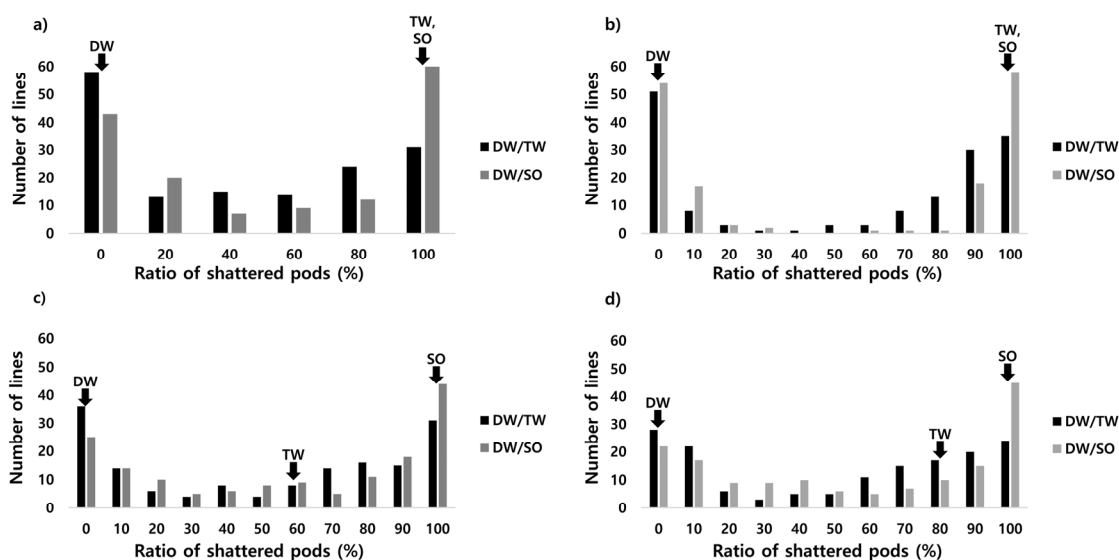


Fig. 2. Frequency distribution for pod shattering in the two RIL populations derived from ‘Daewonkong’ (DW) × ‘Tawonkong’ (TW) and ‘Daewonkong’ × ‘Saeolkong’ (SO) after drying for 72 h in 3 years; a) 2016, b) 2017, c) 2018 and d) combined (average of 3 years).

변이는 저항성 계통과 감수성 계통이 뚜렷하게 구분되는 빈도분포를 나타내어 질적형질에 가까운 형태를 나타내었다(Figs. 1 and 2). 따라서 ‘대원콩’의 내탈립성은 소수의 유전자에 의해 조절되고 이중에서도 탈립성에 강하게 관여하는 주동유전자가 존재한다는 것을 추측해 볼 수 있고, 이는 연차 간에 안정적으로 것으로 판단된다. 이러한 결과는 16 번 염색체상에 주동유전자가 존재한다는 기존 보고(Funatsuki *et al.* 2014, Lee *et al.*, 2017)와 일치하였다.

처리 시간에 따른 효과와 계통 간 내탈립성 변이

본 연구에서 나타난 내탈립성 변이는 기존 보고(Kang *et al.*, 2008) 보다 저항성과 감수성 계통 간의 탈립성 차이가 더욱 분명하게 구분되었고, 건조 시간이 증가할수록 이러한 경향은 더욱 뚜렷해졌다(Figs. 1 and 2). 건조 시간별, 연차별 내탈립성 변이에 대한 상관 관계 및 내탈립성에 영향을 미친 요인에 대한 유의성을 평가하기 위하여 상관 분석(Figs. 3 and 4) 및 분산 분석(Table 3)을 수행하였다.

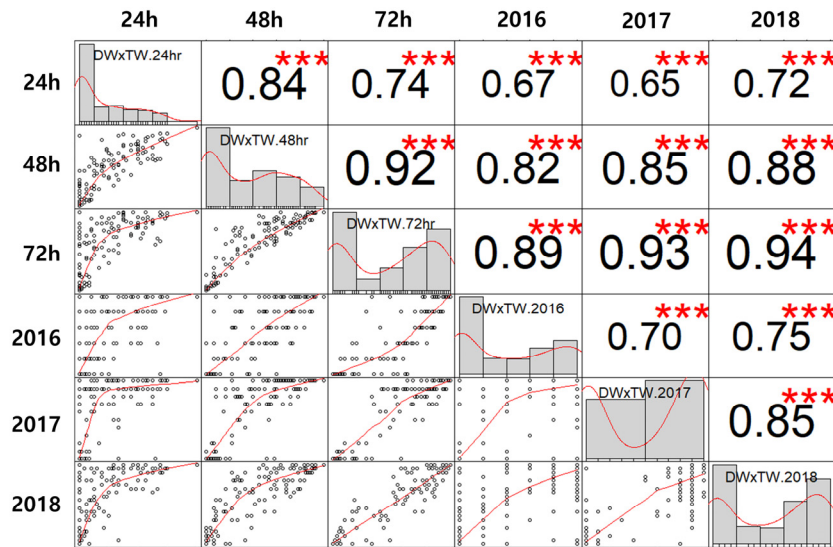


Fig. 3. Correlation of pod shattering ratio between the pod drying periods (24 h, 48 h and 72 h, average pod shattering ratio over 3 years) and experimental years (2016, 2017 and 2018, pod shattering ratio drying after 72h) in RIL population derived from ‘Daewonkong’ (DW) × ‘Tawonkong’ (TW). *** denotes statistically significant values ($p < 0.001$).

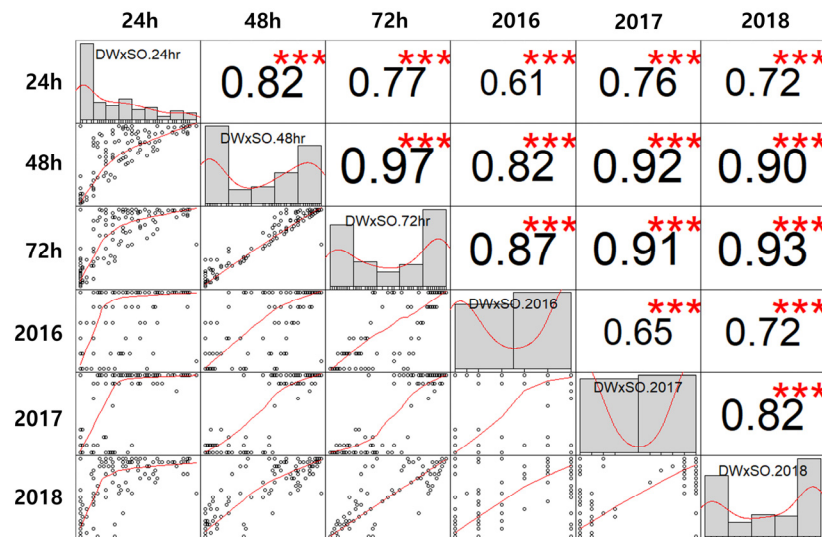


Fig. 4. Correlation of pod shattering ratio between the pod drying periods (24 h, 48 h and 72 h, average pod shattering ratio over 3 years) and experimental years (2016, 2017 and 2018, pod shattering ratio drying after 72 h) in RIL population derived from ‘Daewonkong’ (DW) × ‘Saeolkong’ (SO). *** denotes statistically significant values ($p < 0.001$).

건조 시간별 상관분석 결과 두 집단에서 모두 건조 48 시간 후의 내탈립성 변이와 72시간 후의 내탈립성 변이 간의 상관계수가 가장 높았고($r=0.92, p<0.001, r=0.97, p<0.001$), 다음으로 건조 24시간 후의 내탈립성 변이와 48시간 내탈립성 변이 간의 상관계수가 높았다($r=0.84, p<0.001, r=0.82, p<0.001$). 또한 건조 24시간 후의 탈립성 변이와 72시간 후의 탈립성 변이 간의 상관도 높은 것($r=0.74, p<0.001, r=0.77, p<0.001$)으로 나타났다(Figs. 3 & 4). 연차별 내탈립성 변이는 각 연차별로 유사한 형태의 빈도 분포를 나타내었고(Fig. 2), 상관 분석 결과 두 집단에서 탈립률에 대한 연차 간 상관계수는 $r=0.65^{***}$ 에서 $r=0.85^{***}$ 로 높은 상관계수를 나타내었다(Figs. 3 & 4). 특히 '16, '17년도의 상관계수($r=0.70, p<0.001, r=0.65, p<0.001$) 보다 '17, '18년도 간($r=0.85, p<0.001, r=0.82, p$

<0.001)의 상관계수가 높은 것을 확인할 수 있는데, 이는 연차가 지날수록 각 계통의 유전형이 고정되어 표현형이 더욱 안정적으로 나타나는 것으로 추측해 볼 수 있다.

시험 계통 및 연차 간 분산 분석 결과, 계통 간(genotype)에는 통계적으로 유의한 차이($p<0.001$)를 나타내어 계통 간에 내탈립성 차이가 있다는 것을 알 수 있었고, 시험 연차 간(year)에는 유의한 차이를 나타내지 않아 '대원콩' 유래의 내탈립성 변이가 연차 간에 통계적으로 비슷하여 안정적인 것을 알 수 있었다. 또한 계통과 연차 간(genotype×year)에는 상호작용($p<0.001$)을 나타내어 계통에 따라서 연차 간 변이가 달리 반응하는 경우도 있음을 알 수 있었다(Table 3). 3년간 내탈립성에 대한 유전력은 0.86으로 높은 것으로 나타나 연차 간의 환경 변이 보다는 유전에 의한 계통 간의 내탈립성 차이가 더 큰 것으로 판단되었다.

Table 3. Analysis of variance and broad-sense heritability for average pod shattering ratio over three years.

Sources of variation	Degrees of freedom	Pod shattering ratio	
		F-value	P-value
ANOVA			
Genotype (G)	306	12.27	<.001
Year (Y)	2	2.90	0.056
Genotype Year (GY)	612	1.75	<.001
Residuals	1842		
Broad-sense heritability		0.86	

생육특성 조사 결과

'16-'17년 2년간 두 개의 RIL 집단에서 내탈립성 계통으로 선발된 71개의 유망계통에 대한 생육특성 빈도분석 결과 각 형질별로 정규분포 형태의 분포를 나타내었다(Fig. 5). 따라서 내탈립성에 대한 선발 자원들 간에도 주요 생육특성 간에 차이가 있을 수 있으며, 내탈립성을 가지면서도 개화기가 빠르거나 생육특성이 우수하여 수량성 증진에 유리한 형질들을 집적하고 있는 계통들을 선발할 수 있었다.

개화기는 '다원콩'이 7월 25일로 사용된 모·부분 중에 가장 빨랐고, '다원콩' 보다 개화기가 빠른 계통은 12계통이었다. 모·부분 보다 경장 및 착엽고가 높은 계통은 각각

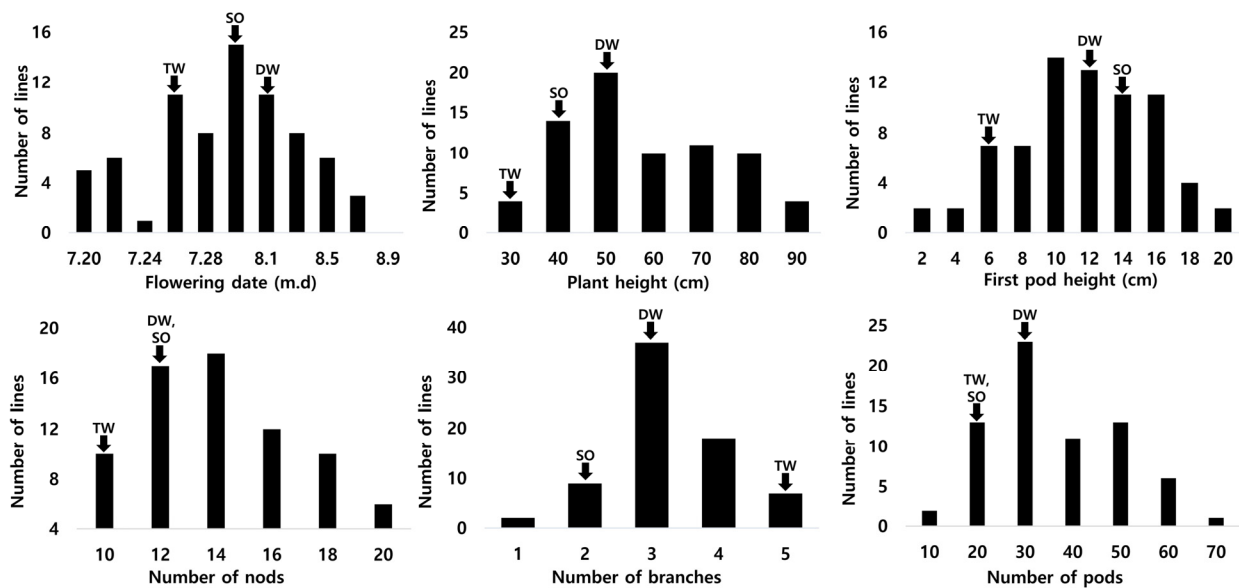


Fig. 5. Distribution of agronomic traits of the pod shattering tolerant lines.

Table 4. Average values of agronomic traits of the tolerant lines for pod shattering over three years.

Name	Combination ^z	Flowering date (m.d)	Maturing date (m.d)	Plant height (cm)	First pod height (cm)	No. of nodules	No. of branches	No. of pods	Ratio of Shattered pods (%) ^y	Seed color	Hilum color
Daewonkong	-	8.1	10.12	49.8bc ^x	12.1bc	12.8bc	3.3bc	25.3cd	0	yellow	yellow
Tawonkong	-	7.25	9.30	34.2d	5.8de	10.8d	4.8a	14.6d	80	black	black
Saeolkong	-	7.29	9.25	44.4c	13.4abc	12.8bc	2.2cd	21.4cd	100	yellow	yellow
18R49-035	DT	7.25	9.30	37.2d	3.6e	11.6cd	4.0ab	37.4bcd	0	brown	brown
18R49-038	DT	8.5	10.1	74.0a	14.6ab	19.4a	3.0bcd	110.0a	0	brown	brown
18R49-094	DT	7.31	10.5	73.2a	17.4a	18.2a	2.2cd	52.6b	0	brown	brown
18R50-058	DS	7.29	10.3	52.0b	13.0abc	13.4b	3.8ab	56.6b	0	yellow	yellow
18R50-059	DS	7.22	9.30	34.2d	9.2cd	12.2bcd	2.6bcd	42.6bc	0	yellow	yellow
18R50-098	DS	8.1	9.27	80.0a	16.6ab	18.0a	1.6d	37.4bcd	0	yellow	yellow
F-value ^w	-	-	-	57.9 ^{***}	9.2 ^{***}	42.2 ^{***}	4.5 ^{***}	12.6 ^{***}	-	-	-

^zCombination information; D: 'Daewonkong', T: 'Tawonkong', and S: 'Saeolkong'

^yMean value of the ratio of shattered pods tested after 72 h of drying for three years

^xMean values followed by the same letters in a column were not significantly different by Duncan's multiple range test

^wF-values from analysis of variance. ***denotes significant difference ($p < 0.001$)

38, 20계통이었으며, 모·부분 보다 마디수, 분지수, 협수가 많은 계통은 각각 40, 2, 45계통으로 조사되었다(Fig. 5). 이처럼 마디수, 분지수, 협수 등이 많은 계통은 '대원콩' 수준의 내탈립성을 가지면서도 수량성이 증진될 것으로 생각된다.

내탈립성 유망계통 선발

'16-'18년 3년간 실내 내탈립성 검정 결과 건조기에서 72 시간 후 개열한 협의 개수가 '0'인 저항성 계통은 '대원콩'×'다원콩' 조합에서 26계통, '대원콩'×'새울' 조합에서 21계통이었으며(Table 1), 이 중에서 개화기 및 성숙기가 '새울'에 준하여 빠른 단기성 계통과 종피색이 유색인 유색콩 계통을 각각 선발한 후 생육조사 결과와 종합하여 최종적으로 총 6계통을 Table 4와 같이 선발하였다. 선발된 6개 계통은 모본인 '대원콩' 보다 성숙기가 7~15일 빨랐고, '18R49-038', '18R49-094', '18R50-058', '18R50-098' 등 4계통은 경장 및 착첩고가 높고 마디수가 많은 특성을 나타내었고, '18R49-035', '18R50-059' 등 2계통은 경장 및 마디수가 적지만 분지수가 많은 특성을 나타내었다. 또한 6개 계통 모두 협수가 모·부분 보다 많아 수량성이 증진될 것으로 판단되었다(Table 3). 이중에서도 '18R49-035' 계통은 종피색이 갈색이면서도 개화기 및 성숙기가 빨라 내탈립성을 가진 유색 단기성 계통으로서 유망한 것으로 평가되었다.

적 요

콩의 내탈립성은 성숙기 수량 손실의 주요인이며 기계수확 시 장애요인으로서 개량되어야 할 불량형질로 간주된다. 국립식량과학원에서 개발된 '대원콩'은 성숙기 탈립에 매우 강한 특성을 나타내어 현재까지도 가장 널리 보급되어 있는 콩 품종이다. 향후 육종 프로그램에서는 '대원콩' 수준의 내탈립성을 가지면서도 수량성, 품질 등이 개선된 품종을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 따라서 본 연구는 '대원콩' 유래의 내탈립성에 대한 변이 양상을 조사하고, '대원콩' 수준의 유색콩 및 단기성 콩을 선발하기 위해 수행되었다. '대원콩'을 모본으로 하고, 감수성인 검정콩 품종 '다원콩'과 단기성 콩 품종인 '새울'을 각각 부분으로 하는 두개의 고세대 RIL 집단을 활용하여 '16년부터 '18년 3년간 실내 내탈립성 검정을 수행하였다. 그 결과 건조 시간별, 연차별 내탈립성 변이가 두 집단에서 모두 저항성 계통과 감수성 계통이 뚜렷하게 구분되는 비슷한 분포를 나타내었고, 이에 따라 '대원콩'의 내탈립성은 기존 보고와 같이 소수의 유전자에 의해 조절되고 특히 가장 강하게 관여하는 유전자가 존재함을 알 수 있었다. 또한 '대원콩' 유래의 내탈립성은 연차 간에 안정적인 형질이었으며, 건조 시간이 오래될수록 안정적이었다. 따라서 건조 72시간 후의 터진 협의 비율을 지표로 성숙기 탈립에 저항성인 총 47계통을 선발할 수 있었으며, 생육조사 결과와 종합하여 최종

적으로 내탈립 유색콩 및 단기성콩 6계통을 선발할 수 있었다. 선발된 6개 계통은 ‘대원콩’ 수준의 내탈립성을 가지면서도 성숙기가 빠르고, 경장, 마디수, 협수 등이 높아 추후 육종프로그램에서 내탈립성인 유색콩, 단기성콩 품종 개발의 모본으로서 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제명: 콩 내재해성 증진을 위한 QTL 분석 및 중간모본 육성, 과제번호: PJ011-86803)의 지원에 의해 수행되었다.

인용문헌(REFERENCES)

- Baek, I. Y., D. C. Shin, S. T. Kang, S. B. Song, S. O. Hur, Y. H. Kwack, and M. S. Lim. 1998. A new early maturity, good seed quality and high yielding soybean variety “Saeolkong”. *Korean J. Breed Sci.* 30 : 397.
- Bailey, M. A., M. A. R. Mian, T. E. Carter Jr, D. A. Ashley, and H. R. Boerma. 1997. Pod dehiscence of soybean: identification of quantitative trait loci. *J. Hered.* 88: 152-154.
- Dong, Y., X. Yang, J. Liu, B. H. Wang, B. L. Liu, and Y. Z. Wang. 2014. Pod shattering resistance associated with domestication is mediated by a NAC gene in soybean. *Nat. Commun.* 5 : 3352.
- Fuller, D. Q. 2007. Contrasting patterns in crop domestication and domestication rates: recent archaeobotanical insights from the Old World. *Ann. Bot.* 100 : 903-924.
- Funatsuki, H., M. Ishimoto, H. Tsuji, K. Kawaguchi, M. Hajika, and K. Fujino. 2006. Simple sequence repeat markers linked to a major QTL controlling pod shattering in soybean. *Plant Breed* 125 : 195-197.
- Funatsuki, H., M. Ishimoto, H. Tsuji, K. Kawaguchi, M. Hajika, and K. Fujino. 2008. Confirmation of the location and the effects of a major QTL controlling pod dehiscence, qPDH1, in soybean. *Breed Sci.* 58 : 63-69.
- Funatsuki, H., M. Suzuki, A. Hirose, H. Inaba, T. Yamada, M. Hajika, K. Komatsu, T. Katayama, T. Sayama, M. Ishimoto, and K. Fujino. 2014. Molecular basis of a shattering resistance boosting global dissemination of soybean. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 111 : 17797-17802.
- Hancock, J. F. 2004. Plant evolution and the origin of crop species. CAB International, Wallingford.
- Hong, E. H., S. D. Kim, Y. H. Lee, Y. H. Hwang, Y. H. Moon, H. S. Kim, E. H. Park, Y. G. Seong, Y. H. Kim, W. H. Kim, Y. H. Ryu, and R. K. Park. 1992. A good quality, semi-dwarf, high density-adaptable and high yielding new soybean variety “Sinpaldalkong”. *RDA J. Agric. Sci.* 34 : 20-25.
- Kang, S. T., H. K. Kim, I. Y. Baek, M. G. Chung, W. Y. Han, D. C. Shin, and S. H. Lee. 2005. Genetic analysis of pod dehiscence in soybean. *Korean J. Crop Sci.* 50 : 281-285.
- Kang, S. T., M. Kwak, H. K. Kim, M. G. Choung, W. Y. Han, I. Y. Baek, M. Y. Kim, K. Van, and S. H. Lee. 2008. Population-specific QTLs and their different epistatic interactions for pod dehiscence in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Euphytica* 166 : 15-24.
- Kim, S. D., K. Y. Park, H. T. Yun, Y. H. Lee, S. H. Lee, Y. K. Seung, E. H. Park, Y. H. Hwang, and C. J. Ryu. 1998. A new soybean variety for soypaste with large seed and disease resistant “Daewonkong”. *RDA J. Crop Sci.* 40 : 107-111.
- Kim, S. D., K. Y. Park, Y. H. Lee, H. T. Yun, S. H. Lee, Y. H. Kim, Y. K. Seung, E. H. Park, H. S. Kim, Y. H. Ryu, Y. G. Son, and Y. S. Kim. 1998. A black seed coat soybean variety with small seed and lodging resistant ‘Tawonkong’. *RDA J. Crop Sci.* 40 : 102-106.
- Lee, J. S., K. R. Kim, B. K. Ha, and S. T. Kang. 2017. Identification of SNPs tightly linked to the QTL for pod shattering in soybean. *Mol. Breed* 37 : 54.
- Liljegren, S. J., G. S. Ditta, Y. Eshed, B. Savidge, J. L. Bowman, and M. F. Yanofsky. 2000. Shatterproof mads-box genes control seed dispersal in *Arabidopsis*. *Nature* 404 : 766-770.
- Mitsuda, N. and M. Ohme-Takagi. 2008. NAC transcription factors NST1 and NST3 regulate pod shattering in a partially redundant manner by promoting secondary wall formation after the establishment of tissue identity. *Plant J.* 56 : 768-778.
- Ogawa, M., P. Kay, S. Wilson, and S. M. Swain. 2009. arabidopsis dehiscence zone polygalacturonase1 (ADPG1), ADPG2, 1 AND quartet2 are polygalacturonases required for cell separation during reproductive development in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 21 : 216-233.
- RDA (Rural Development Administration). 2012. Agricultural science technology standards for investigation of research. RDA. Jeonju, Korea.
- Suzuki, M., K. Fujino, Y. Nakamoto, M. Ishimoto, and H. Funatsuki. 2010. Fine mapping and development of DNA markers for the qPDH1 locus associated with pod dehiscence in soybean. *Mol. Breed* 25 : 407-418.
- Schmutz, J., S. B. Cannon, J. Schlueter, J. Ma, T. Mitros, W. Nelson, and J. Cheng. 2010. Genome sequence of the palaeo-polyploid soybean. *Nature* 463 : 178-183.
- Toker, C. 2004. Estimates of broad-sense heritability for seed yield and yield criteria in faba bean (*Vicia faba* L.). *Hereditas* 140 : 222-225.