

콩에서 흡즙해충 싸리수염진딧물 저항성 자원의 발굴

고흥민¹ · 박수민¹ · 김경혜¹ · 김지민¹ · 이택림¹ · 허진호¹ · 이주석² · 정진교³ · 강성택^{1,†}

Resistance Resources for the Foxglove Aphid in Soybeans

Hong-Min Koh¹, Sumin Park¹, Kyung Hye Kim¹, Ji Min Kim¹, Taeklim Lee¹, Jinho Heo¹, Ju Seok Lee², Jinkyoo Jung³, and Sungteag Kang^{1,†}

ABSTRACT

The recent global climate change induced the drought, flooding, and insect pest outbreaks. These caused the severe damage to crop yield in the domesticated field and occurrence change of insect pest species. The sap-sucking insect pest, aphids are common in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] and cause serious yield losses. Thus, developing resistance cultivars is promising and efficient strategy to prevent the significant yield losses by aphid and screening germplasm is the essential procedure to achieve this goal. We tried to establish a resistance test indicator for foxglove aphid, *Aulacorthum solani* (Kaltenbach), in soybean and found that plant damage degree or infested plant damage is most suitable one. Also we screened around 1,200 of soybean germplasm including wild and cultivated species for its resistance to foxglove aphid from the various origins, and 67 soybeans, including PI 366121, showed antixenosis resistance, 31 germplasms among 67 antixenosis germplasms were showed antibiosis to foxglove aphid with non-choice test. The identified foxglove aphid resistant soybean resources showed significantly low rate in survival test. Furthermore, resistance type, (*i.e.*, antibiosis or antixenosis) of each candidate were varied. In this research, we established the screening index for foxglove aphid resistance in soybean, and identified the resistance varieties. This result could be useful resources in breeding for new foxglove aphid resistance soybean cultivars, and provide fundamental information to investigate the resistance mechanism in soybean.

Keywords : foxglove aphid, resistance, resources, soybean

콩(*Glycine max* L.)은 우리나라에서 간장, 두부, 된장 등 여러 가지 식품으로 이용되고 있으며 우수한 단백질과 지방의 공급원으로 가축의 사료와 콩기름, 바이오 에너지로도 이용이 가능하다. 또한 녹비작물로 뿌리혹박테리아에서 토양에 질소를 고정시켜 비료의 사용량을 절감할 수 있는 경제적 작물이기도 하다. 콩은 이소플라본, 레시틴, 사포닌 등 다양한 성분들이 존재하는 단백질과 영양소의 공급원으로, 콩 단백질은 카제인과 같은 동물성 단백질에 비해 저콜레스테롤 혈중효과가 있으며, 간 지방 생성 효소의 활성을 감소시키고(Aoyama *et al.*, 2000), 에스트로겐 함량 조절, 노화 억제와 독소 중화 등 신체 내 유용한 물질을 공

급함으로써 우리 국민들의 건강에도 큰 기여를 한다.

우리나라에서 콩 생산량은 2016년과 2017년 각각 9만 톤과 10만 톤으로 벼 다음으로 재배 면적과 생산량이 많은 작물이다(MAFRA, 2017). 그러나 이러한 생산량은 국내 소비량에 비해 턱없이 부족한 상태로 자급률은 25% ('16) 수준이며, 옥수수과 밀 다음으로 많은 양을 수입에 의존하고 있어 국내 안정적인 콩 수급을 위해 국산 콩의 생산성 향상을 위한 연구가 필요하다.

최근의 기후 변화로 대기 중 CO₂ 농도의 변화, 평균기온 상승, 성층권의 오존농도 증가와 더불어 가뭄, 침수 및 돌발적인 병해충 발생과 같은 요인들이 작물 생육에 있어 많

¹단국대학교 생명자원과학대학 식량생명공학과 (Dept. of Crop Science & Biotechnology, Dankook University, Cheonan 31116, Korea)

²한국생명공학연구원 바이오평가센터 (Korea Research Institute of Bioscience & Biotechnology, Cheongwon-gu, Cheongju 28116, Korea)

³국립식량과학원 중부작물부 (National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16613, Korea)

[†]Corresponding author: Sungteag Kang; (Phone) +82-41-550-3621; (E-mail) kangst@dankook.ac.kr

<Received 27 August, 2018; Revised 14 September, 2018; Accepted 16 September, 2018>

은 영향을 끼치고 있다(IPCC, 2007). 전 세계적으로 대기 중 CO₂ 농도가 증가함에 따라 북반구의 평균 기온이 약 1.4°C 상승하면서 병해충과 농사 방식에 있어 변화가 나타났으며, 많은 병해충들이 변화하는 기후에 맞게 새로운 변이를 만들어 내고 있다(Gregory *et al.*, 2009). 과거 미국의 경우, 나비와 나방과 같은 식엽해충류가 증가하였으나 최근에는 진딧물이나 노린재 같은 흡즙성해충이 증가하고 있으며(Hany & Shemy, 2013) 국내에서도 마찬가지로 흡즙성 해충의 발생 빈도가 증가될 것으로 추정된다. 이와 같이 기온의 변화에 따라 발생 하고 있는 현상에 대비해 불량한 환경에도 적응 할 수 있는 작물의 개발은 안정적인 식량 수급의 필수 요인이다.

진딧물은 분포범위가 매우 넓어 전 세계 4000여 종, 한국에는 300여 종이 알려져 있고 그 중 콩에서는 콩진딧물, 완두수염진딧물, 싸리수염진딧물이 대표적이다. 이들은 대부분 식물에 기생하여 흡즙하며 심각한 물리적, 경제적인 피해를 입히며 바이러스를 매개해 2차 병해를 발생시킨다(Cevik & King 2002). 진딧물은 주로 식물의 체관부를 흡즙하고 포도당을 양분으로 유·무성생식을 통해 빠르게 증식하며, 엽형의 변형과 잎의 고사, 꼬투리와 종자 감소에 따른 수량감수 등의 피해를 입힌다(Wang *et al.*, 1996). 콩진딧물(*Aphis glycines Matsumura*)은 콩을 가해해 biomass와 전체적인 수량과 지방함량을 감소시키며, 잎을 가해해 엽록소의 손상을 일으켜 광합성률을 약 50%까지 떨어트린다(Beckendorf *et al.*, 2008). 콩진딧물에 대한 저항성연구는 다수 진행되었는데, Hill *et al.* (2004)이 진딧물 저항성 자원인 Jackson을 보고한 이후 Jackson과 Dowling에서 각각 콩진딧물에 저항성을 갖는 단일 우성유전자를 발견하여 Dowling의 저항성 유전자를 'Rag1'로 명명하였고(Hill *et al.*, 2004, 2006a,b). 이후 Mian *et al.* (2008)의 연구에서 PI 243540의 'Rag2'와 Zhang *et al.* (2009)에서 'Rag3,4'가 보고되었다. 그러나 국내 콩에서 가장 많이 발생하는 3대 진딧물 중 하나인 싸리수염진딧물에 대한 연구는 거의 이뤄지지 않고 있다. 매미목 진딧물과에 속하는 싸리수염진딧물(*Aulacorthum solani Kaltenbach*)은 가지, 고추, 오이, 콩류를 가해하고 40여 종의 바이러스를 매개하는 흡즙성 해충으로(Blackman & Eastop, 1986) 겨울철 상추의 시설재배지에서 상시 발생하며 연중에도 피해를 주는 상추의 주요 해충으로도 알려져 있다(Jeon & Kim, 2006). 일본에서 처음으로 콩에서 싸리수염진딧물에 대해 저항성을 갖는 유전자 'Rasol'이 3번 염색체에 위치한다는 결과가 발표되었고(Ohnishi *et al.*, 2012), 이후 대사체 분석을 통해 감수성과 저항성 자원 간 확연한 차이가 나는 물질을 확인한 연구

가 발표되었다(Sato *et al.*, 2013). 국내에서는 최근 PI 366121에서 'Raso2' 유전자가 발굴되어 보고되었지만(Lee *et al.*, 2015) 국내 콩에서 많은 피해를 주는 해충임에도 불구하고 싸리수염진딧물에 대한 연구는 저조한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 안정적인 콩 수급과 돌발 해충에 대비하기 위하여 싸리수염진딧물 저항성 자원을 발굴하고자 대량의 유전자원을 대상으로 저항성 자원 탐색을 실시하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에 사용한 진딧물은 농촌진흥청 국립식량과학원 식량작물보호연구실에서 수원지역 콩 재배포장에서 채집하여 유지하던 자원을 분양받았고 이후 서울대학교 곤충분류학실험실에서 싸리수염진딧물로 분류 동정하였다. 싸리수염진딧물은 아크릴로 제작된 345 mm의 정육면체 사육상자 안에서 Lee *et al.* (2008)의 연구를 참고하여 온도 23~25°C, 습도 60~80%, 일장 16:8 (L:D)의 환경에서 재배 품종인 대풍콩 유묘를 기주식물로 하여 실내집단을 유지하였다. 싸리수염진딧물 저항성 자원발굴을 위해 농촌진흥청 국립식량과학원 전작과에서 국내외 재래종 647점, 야생종 468점을 분양받았으며, 콩진딧물에 저항성을 보인다고 보고된 PI548663, PI548657, PI548445, PI593238, PI567301B, PI71506, PI595099, PI230977 및 PI366121은 USDA-grin (www.ars-grin.gov)로부터 분양받아 사용하였다.

싸리수염진딧물 저항성 검정방법확립 및 저항성 자원 탐색 싸리수염진딧물의 검정방법확립

싸리수염진딧물의 검정방법확립을 위해 소원, 대풍과 콩진딧물에 저항성이 보고된 PI 548663 등 10종을 생장상에서 25~28°C의 조건으로 2주간 재배 후 싸리수염진딧물 성충을 식물체당 4마리를 접종하고 생육을 진전시킨 다음 접종 후 14일차에 접종엽 및 식물체 전체에서 진딧물에 의한 피해정도를 조사하였다. 또한 비가림온실에서 각 품종별로 10개체씩 난괴법 3반복으로 파종하였으며, V₂ stage 까지 재배 후 식물체당 4마리를 접종 후 14일차에 진딧물 마릿수를 조사하고 30일차에 전체 식물체 피해정도, 상위 3엽에 진딧물 마릿수, 전체 진딧물 마릿수 등을 조사하였다.

콩 유전자원에 대한 싸리수염진딧물 저항성 자원 탐색

분양받은 콩 유전자원을 대상으로 싸리수염진딧물 저항

성 검정을 실시하였다. 1단계는 Choice 검정을 통한 대량검정으로 비선호성(antixenosis)자원을 발굴하고 이들 자원에 대해 2단계로 No-choice 검정을 실시하여 항생성(antibiosis)자원을 발굴하였다.

1단계 Choice 검정은 재배종 647점과 야생종 468점으로 구성된 국내의 유전자원 1,115점에 대해 재배종은 550×270×120 mm 50구 트레이에 한 구에 1주씩, 25~28°C의 조건의 비가림온실에서 2주간 재배하였으며, 재배종에 비해 식물체의 생육량이 적은 야생종은 재배종과 같은 조건 아래 4주간 재배 후 아래와 같이 저항성 검정을 실시하였다. 싸리수염진딧물 접종은 성충을 식물체 당 4마리씩 붓을 이용하여 1본엽의 상부에 접종하고, 트레이 내에서는 식물체 간 이동이 가능하게 하였으며, 방충망을 설치하여 다른 트레이로 이동을 막았다. 상기의 방법으로 선발된 자원에 대한 재검증을 위해 저항성으로 확인된 자원에 대해 1차 검정법과 동일한 조건으로 50구 트레이에 감수성 품종과 저항성 자원을 함께 배치 후 위와 같은 방법으로 3회 반복 실험하였다. 마찬가지로 야생종의 경우도 생육량을 고려하여 4주간 재배 후 싸리수염진딧물을 접종하여 2주간 관찰하였으며 주요 조사 항목으로는 접종엽 및 전체식물체의 피해 정도를 조사하였다. 조사방법은 Lee *et al.* (2015)의 연구를 바탕으로 피해 정도는 접종엽의 황변 정도를 기준으로 1=피해 없음부터 9=중손실로 등급을 나눴다(Fig. 1).

2단계 No-Choice 검정에서는 Choice 검정으로 선발한 저항성 유전자원을 지름 9 cm 육묘포트에 파종해 성장상[온도 23~25°C, 습도 60~80%, 일장 16:8 (L:D)]에서 재배종은 2주간, 야생종은 4주간 재배하였다. 이후 1본엽에 싸리수염진딧물 성충을 4마리씩 접종 한 뒤 진딧물이 타 개체간 이동 할 수 없도록 코팅용지를 이용해 만든 케이지로 격리 시킨 다음 7일차와 14일차에 진딧물의 개체수와 식물체의 전체 피해 정도를 조사하였다.

저항성 자원과 감수성자원에서 싸리수염진딧물 생존성 비교
항생성 자원으로 평가된 PI 366121과 비선호성 자원으로 평가된 PI 230977 및 감수성 자원인 대풍, 소원, Williams82를 지름이 9 cm인 포트에 각 5반복으로 파종한 뒤 24~26°C의 온도와 40~60% 습도인 환경에서 V₁ stage까지 재배하였다. 자원별로 접종한 싸리수염진딧물이 생산하는 진딧물 마릿수를 측정하기 위해 싸리수염진딧물 성충 한 마리를 대풍에 접종한 뒤, 성충이 산자를 낳도록 한 뒤 새로 태어난지 3일된 약충 한 마리를 각 검정자원에 접종하였다. 이후 각 자원에 접종한 약충이 성충으로 탈피한 후 생식을 시작하면 약충을 접종한 날부터 성충이 첫 자손을 낳은 날까지의 기간을 측정하였다. 또 우화한 성충이 첫 산자를 낳은 후부터 5일 동안 생산한 약충 수를 조사하였다. 이와 함께 새로운 약충이 태어났을 때, 그 날부터 이 약충이 자라 성충이 되어 다시 처음 자손을 낳은 날까지의 기간을 조사하였다. 마릿수 측정시 오류를 피하기 위해 매일 성충을 식물체의 다른 부위로 옮겨주면서 측정하였고, 약충은 이동하지 않았다. 전체 실험은 검정자원별로 3반복으로 실시하였고 통계분석은 SAS 9.1 package를 이용하여 품종간 분산분석을 실시하고 5%의 유의수준에서 평균간 비교(Duncan's multiple range test)을 실시하였다.

결과 및 고찰

싸리수염진딧물 저항성 검정방법 정립

기존에 콩에서 진딧물 저항성검정에 주로 활용된 검정지표는 콩진딧물에서 사용되는 접종 식물체에서 나타나는 진딧물의 마릿수의 차이를 측정하여 저항성 유무를 확인하였다. Mian *et al.* (2008)의 경우 콩진딧물의 마릿수 범위를 이용한 Aphid score로 저항성 정도를 확인하였고, Diaz-Montano *et al.* (2007)와 Hesler & Dashiell (2011)의 경우 11 cm 직

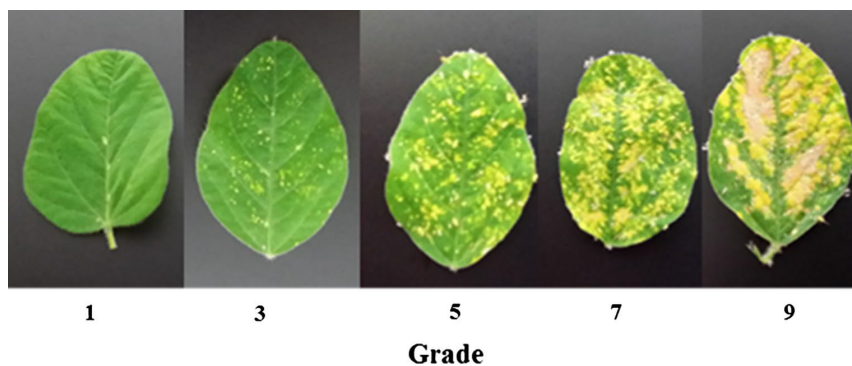


Fig. 1. Damaged leaves and their damage grade. The Leaf color changes at 14 days after foxglove aphid infestation. According to area of changed color on the leaf, damage was graded from 1 to 9 (Lee *et al.*, 2015).

경의 원형 화분에 식물체를 원형으로 배치 후 90마리 이상의 콩진딧물 성충을 이용한 단기간의 이동성을 이용하여 검정지표로 사용하였는데, 크기가 콩진딧물에 비해 2배 이상 크고 이동성이 좋은 싸리수염진딧물에 적용하기에는 진딧물의 증식·유지와 관리 및 재현성 등에서 문제점이 다수 확인되었다. 이와 같은 기존의 검정방법은 실험의 번거로움이 상당하고 앞에서 언급한 것과 마찬가지로 높은 이동성을 가진 싸리수염진딧물 때문에 기존 콩진딧물의 검정방법과는 다른 지표를 찾을 필요가 있다.

따라서 본 실험에서 싸리수염진딧물 검정방법을 확립하기 위해 비가림온실과 식물생장상에서 싸리수염진딧물 피해정도를 비교하였다. Table 1은 2개의 한국 품종과 8종의 콩진딧물 저항성자원에 싸리수염진딧물을 choice test 결과로 접종한 결과로 비가림온실에서 식물체 전체의 피해정도, 상위 3엽의 진딧물 마릿수, 식물체 전체의 진딧물 마릿수를 조사하고, 성장상에서 식물체 피해정도를 관찰한 결과를 나타내었다. 비가림온실과 성장상에서 조사한 식물체 피해정도는 전체적으로 표준편차가 낮아 반복간에 차이가 적었으나 진딧물 마릿수에 대한 지표는 반복 간에 변이가 매우

크게 나타났으며, 기존 콩진딧물 저항성 자원은 싸리수염진딧물에 대해 감수성 반응을 보였고, PI 230977은 싸리수염진딧물에 비선호성을 가진 것으로 확인 할 수 있었다. Table 2는 실내 성장상 및 실외 비가림온실에서 검정한 각 지표간의 상관분석 결과로 비가림온실에서 식물체 피해정도는 총진딧물 마릿수와 상관관계가 0.30으로 매우 낮게 나타났는데 이는 진딧물 마릿수의 경우 콩진딧물 검정지표로써 사용되었으나 콩진딧물과 싸리수염진딧물의 이동성 및 흡즙 부위의 차이로 인한 것으로 판단하였다. 비가림온실과 식물생장상의 각 지표별 ANOVA 분석에 따른 식물체 피해정도의 F-value를 측정한 결과 식물체 피해정도는 비가림온실 및 성장상에서 각각 3.36과 40.21로 품종간의 차이를 나타냈지만, 상위 3엽과 진딧물의 마릿수는 1.14와 1.28로 품종간 차이를 보이지 않았다(데이터 생략). 이상에서 본 것처럼 콩진딧물의 경우 싸리수염진딧물보다 크기가 작으며, 이동성이 적어 진딧물 마릿수를 검정지표로 사용이 가능하나 싸리수염진딧물은 이동성이 활발하기 때문에 검정지표로의 활용도가 떨어진다. 그러나 실내검정에서 확인된 식물체의 피해정도는 실내와 실외반응에서 유사하게 나

Table 1. Mean±standard deviation of various evaluation criteria for 8 PIs and 2 korean soybean varieties after infection of foxglove aphid in the greenhouse and growth chamber.

No.	Variety and PI. No	Degree of plant damage (Greenhouse)	No. of Aphid in the top three leaves (Greenhouse)	Total no. of aphid (Greenhouse)	Degree of plant damage (Growth chamber)
1	Sowon	6.3±1.5	587±806	1,626±2484	5.0±0.0
2	Daepung	7.5±1.0	449±286	1,091±732	5.0±0.0
3	PI 567301B	6.8±1.2	204±130	698±552	5.0±0.0
4	PI 71506	5.1±1.7	328±200	959±609	4.6±0.5
5	PI 230977	1.9±0.9	226±126	811±535	1.5±0.5
6	PI 548663	5.5±1.9	479±261	977±624	5.0±0.0
7	PI 593238	4.0±2.0	199±115	469±223	5.0±0.0
8	PI 595099	4.1±1.2	330±367	1,018±1212	5.0±0.0
9	PI 548445	5.0±1.7	369±270	895±529	4.8±0.4
10	PI 548657	4.3±1.7	486±485	1,296±1278	5.0±0.0

Table 2. Correlation coefficients among various evaluation criteria in the greenhouse and growth chamber.

	Number of foxglove aphid in the top three leaves (Greenhouse)	Total number of foxglove aphid (Greenhouse)	Degree of plant damage (Growth chamber)
Degree of plant damage (Greenhouse)	0.42	0.30	0.70*

* : p < 0.05

Table 3. Correlation coefficients among various evaluation criteria for foxglove aphid resistance with choice test to soybean germplasm in the greenhouse.

	Number of foxglove aphid at day 7	Number of foxglove aphid at day 14	Primary infestation leaf damage at day 14
Total plant damage at days 14	0.51*	0.47*	0.93**

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

타나고 있으며, 지표간의 상관관계에서 R=0.70로 다소 높게 나타나 저항성 반응의 지표로 가장 적합한 것으로 판단되었다. Table 3은 다양한 유전자원에 싸리수염진딧물을 접종 후 각 지표간의 상관관계를 나타내고 있는데 포장에서 전체 식물체의 피해정도는 초기에 진딧물을 접종한 접종엽의 피해정도와 높은 상관 관계를 나타내는 것을 알 수 있었다. 따라서 싸리수염진딧물 저항성검정 시 식물체 피해정도와 진딧물을 접종한 접종엽의 피해정도를 실내 및 실외검정의 저항성 탐색 지표로 볼 수 있었다. 본 연구 결과를 비취 보았을 때 접종 후 14일차 접종엽의 피해 등급과 식물체의 피해정도를 싸리수염진딧물 저항성 검정에 선발 지표로 볼 수 있을 것으로 판단되었다.

싸리수염진딧물 저항성 자원 탐색

싸리수염진딧물 저항성 검정은 1단계 대량검정과 2단계 정밀검정 두 단계로 실행하였는데, 1단계에서 대량검정으로 재배종과 야생종 유전자원 1,115개의 자원을 Choice test 한 결과는 다음과 같다. 재배콩 647점을 Choice test 결과 재배콩은 저항성인 Grade 1이 23개체이고 감수성인 Grade 3이 215개체, Grade 5가 273개체, Grade 7가 97개체, Grade 9가 39개체로 나타났고(Fig. 2), 야생콩은 저항성인 Grade 1이 44개체이고 감수성인 Grade 3이 163개체, Grade 5가 200개체, Grade 7가 60개체, Grade 9가 1개체로 나타나(Fig. 3) 싸리수염진딧물에 비선택호성을 갖는 자원으로 재배콩은 23점, 야생콩 44점을 선발하였다. 재배종 및 야생종 모두 피해범위는 Grade 1부터 9까지 다양하게 조사되어 정규분포 함을 확인하였다. Choice test에서 저항성 자원으로 선발된 재배종 23점과 야생종 44점에 대해 No-Choice test를 수행한 결과 재배종 8점, 야생종 23점이 항생성 자원으로 판별되었고 재배종과 야생종에서 저항성 자원의 비율은 1.2%와 4.9%로 재배종보다 야생종 자원에서 저항성 자원 비율이 높았다(Table 4). Hill *et al.* (2006b)의 경우 2,000점

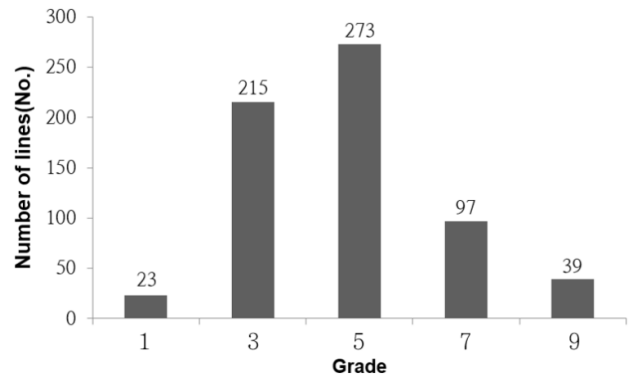


Fig. 2. Frequency distribution of damage grade at 14 days after infestation of *Glycine max* resources in choice test.

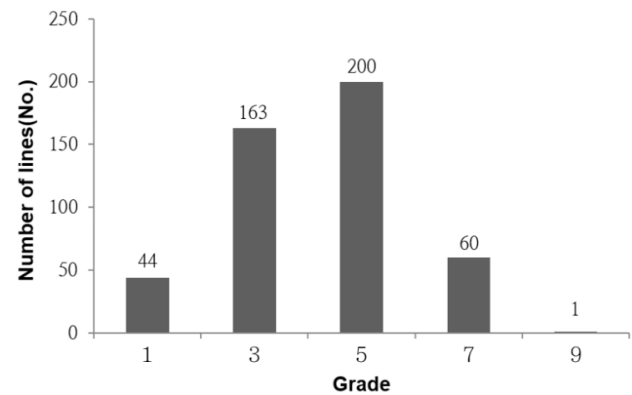


Fig. 3. Frequency distribution of damage grade at 14 days after infestation of *Glycine soja* resources in choice test.

의 미국 재배종의 대해 콩진딧물 저항성 검정 결과 0.5%인 9점이 저항성으로 선발되었고, 이들은 성숙군 IV~VIII에 속하였으며, Mensah *et al.* (2005)은 미국의 MG 0~III에 속하는 2,147점 중 PI 567543C, PI 567597C, PI 567541B와 PI 567598B 4점에서 저항성 유전자원을 선발하였다. 또한 Mian *et al.* (2008)도 추가로 3점의 유전자원을 선발하였으며 추가적으로 2014년까지 18,000점의 유전자원 중 0.7%인 140점만이 저항성 유전자원으로 선발되었다. 그러나 본 연구에서는 유전자원 1,115점 중 비선택호성 67점, 항생성 31점이 싸리수염진딧물 저항성 자원으로 선발되었는데, 이는 Hill *et al.* (2004)과 Mensah *et al.* (2005)이 선발한 재배종 비율인 0.5%, 0.2% 보다 높은 1.2%로 확인되었으며, 야생종은 4.9% 비율로 확인되었다. 이는 연구에 사용한 유전자원 수량의 차이가 있으며, 더 많은 재배종 유전자원을 탐색할 경우 미국의 콩진딧물 저항성 자원의 비율인 0.2~0.7% 수준

Table 4. Choice and non-choice test for foxglove aphids with *Glycine max* and *Glycine soja* germplasms.

	Total (No.)	Choice Test		No-choice Test	
		Resistance (No.)	Ratio(%)	Resistance (No.)	Ratio(%)
Wild (<i>Glycine soja</i>)	468	44	9.4	23	4.9
Cultivated (<i>Glycine max</i>)	647	23	3.6	8	1.2
Total	1,115	67	6.0	31	2.8

Table 5. Identification of the foxglove aphid resistant soybean through the foxglove aphid reproduction.

Variety	Total Nymph numbers [†]	Days from inoculation to Nymph (day) [‡]	Days from Nymph to progeny (day) [‡]
Deapung	17.1 ^a	5.8 ^a	16.3 ^a
Sowon	18.0 ^a	6.8 ^a	13.3 ^b
Williams82	18.0 ^a	6.5 ^a	14.5 ^{ab}
PI 230977	9.6 ^b	6.8 ^a	NA*
PI 366121	0 ^c	NA*	NA*

[†]Total number of nymph that adult aphid propagated for 5 days

[‡]Period the time nymph reproduced the progeny

*Unable to observe

까지 낮아질 것으로 예상되지만 야생종의 경우 우리나라 및 중국이 원산지인 다양한 우성인자를 보유함으로 인해 재래종 유전자원에서 선발된 비율인 0.2~0.7%보다는 높은 비율로 선발될 것으로 예상된다. 또한 자원에 따라 저항성 기작의 상이함을 추정할 수 있는데, 일부자원은 Choice test에서는 저항성을 보였으나 Non-Choice test에서는 감수성을 보여(Table 4) 저항성자원의 종류에 따라 다른 반응을 보임을 알 수 있었고 이는 금후 싸리수염진딧물 저항성 기작연구에 중요한 재료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

저항성자원과 감수성자원에서 싸리수염진딧물 생존성 비교

상기의 방법으로 저항성 및 감수성이 확인된 자원 중 일부 자원을 대상으로 싸리수염진딧물의 생존성 정도를 정밀 검정한 결과는 다음과 같다(Table 5). 생존성은 자원별로 접종한 싸리수염진딧물 약충이 성충이 되어 처음 번식을 시작하기까지의 일수, 처음 번식 후 5일간 생산하는 유충의 수, 번식한 유충이 성충이 되어 다시 유충을 생산하는 일수를 비교하였다. 조사 결과 감수성인 대풍, Williams 82, 소원은 5일간 생산한 유충의 수가 각각 17, 18, 18마리로 나타났다며 비선호성 자원인 PI 230977는 9마리, 항생성 자원인 PI 366121은 진딧물 유충의 관찰이 불가능하였고, 이러한 현상은 감수성, 항생성 및 비선호성 개체에서 서로 유의하게 차이를 보였다. 또한 접종일에서 처음 유충을 생산한 일수는 대풍, 소원, Williams 82, PI 230977은 약 6일 전

후로 유의적인 차이가 없었고, PI 366121은 유충을 생산하지 못하여 측정이 불가능하였다. 처음 생산한 유충이 성충이 되어 다시 유충을 생산하는 일수 즉 한 세대 경과일수는 대풍, 소원, Williams82 간에는 다소 차이가 있었으나 저항성자원인 PI 230977, PI 366121에서는 관찰할 수 없었다. PI 230977과 PI 366121에서는 다른 자원들과는 다르게 진딧물 성충이 제대로 번식을 하지 못하였는데 이는 PI 230977과 PI 366121이 싸리수염진딧물에 대하여 해로운 물질을 생산해 진딧물이 제대로 생육하지 못하고 죽는 현상을 보인 것으로 예상하는데, 일본에서 싸리수염진딧물 저항성 자원으로 밝혀진 Tohoku149과 감수성 자원인 Suzuyutaka를 비교분석한 결과 Tohoku149에서 싸리수염진딧물 저항성 2-methylated 대사물질인 S-methylmethionine과 trigonelline을 발견해 싸리수염진딧물 저항성과 관련이 있을 것으로 보인다(Sato *et al.*, 2014). 다만 PI 230977에서 처음 접종한 유충은 초기에는 무성생식을 하였지만 이후 생식활력이 떨어지고 낳은 유충은 추가적인 번식을 하지 못한 것으로 볼 수 있으며, PI 366121의 경우 초기부터 유충의 생육자체를 억제하여 생식이 불가능 하였을 것으로 판단하였다(Table 5). 콩진딧물에서도 감수성 식물체와 저항성 식물체 간의 진딧물 마리 수 차이가 나타난 것이 싸리수염진딧물의 PI 230977과 PI 366121에서 나타난 현상과 유사한 양상을 보이는 것으로 추정하였다. Hill *et al.* (2010)도 콩진딧물 접종결과 감수성 품종에서 진딧물 마릿수와 생존율이 높았던 반면 저

항성 품종에서는 진딧물의 마릿수와 생존율이 현저하게 차이나는 것을 확인하였다. 콩진딧물에 대하여 감수성 자원과 저항성 자원간의 한 세대 일수 측정에 대한 선행연구들의 결과에서도 감수성 식물과 저항성 식물에서의 진딧물의 한 세대 경과 일수가 통계적으로 차이가 나는 것으로 밝혀져 있다(Li *et al.*, 2004). 따라서 본 실험에서 확인된 싸리수염진딧물 감수성 식물체의 경우 싸리수염진딧물이 살아가기에 적합하여 진딧물이 원활하게 번식하는 반면 저항성 식물체의 경우 생육하지 못하고 성충이 죽는 현상을 보이는 것은 저항성 식물체 내에서 진딧물 생육에 불량한 환경이 조성되었을 것으로 보여져 추후 추가적인 연구가 필요하리라 판단된다. 이상에서 상기의 저항성 검정방법을 통해 선발된 자원의 저항성 정도를 확인할 수 있었고 저항성의 정도에 따라 상이한 반응을 보임을 확인할 수 있었다.

적 요

작물의 병해충 발생은 환경의 여러 가지 요인으로 발생하며 현재 기후의 급격한 변화는 해충류의 급격한 발생빈도 증가를 야기하여 궁극적으로 안정적인 식량 공급의 위협요인이 된다. 본 연구에서는 국내 콩 재배에 있어 많은 피해를 입힐 수 있는 싸리수염진딧물에 대한 저항성 검정 지표설정과 저항성 자원발굴을 실시하였다. 기존 콩진딧물에서 사용하는 검정지표는 이동성이 높은 싸리수염진딧물에서 조사의 어려움 있어 비가림온실과 생장상에서의 진딧물 피해 정도를 분석한 결과를 토대로 싸리수염진딧물 검정지표를 검정한 결과 싸리수염진딧물은 식물의 피해정도가 안정적으로 나타났고, 간편하게는 접종 14일 후 최초 접종엽의 피해 정도가 싸리수염진딧물 검정지표로 가장 우수하였다. 국내 콩 유전자원의 재배종과 야생종 1,115점의 자원에 대한 Choice test 결과 재배종 23점과 야생종 44점으로 총 67개의 저항성 자원을 선발하였으며 No-Choice test를 통해 재배종에서 8점, 야생종에서 23점으로 항생성을 가진 31개의 유전자원을 선발 할 수 있었다. 선발된 저항성 자원은 생존성 검정결과 선발된 저항성자원에서 진딧물의 생존성이 매우 낮았으며 항생성과 비선호성간에 저항성 반응도 상이함을 확인할 수 있었다. 이상에서 밝혀진 싸리수염저항성 검정지표 및 선발된 자원은 금후 해충저항성 품종개발과 기작구명에 유용하게 활용 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 차세대바이오그린21사업(과제번

호:PJ013192)의 연구지원을 받아 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

- Aoyama, T., K. Fukui, K. Takamatsu, Y. Hashimoto, and T. Yamamoto. 2000. Soy protein and its hydrolysate reduce body fat of dietary obese rats and generically obese mice (yellow KK). *Nutrition*. 16 : 349-354.
- Beckendorf, E. A., M. A. Catangui, and W. E. Riedell. 2008. Soybean aphid feeding injury and soybean yield, yield components, and seed composition. *Agronomy Journal*. 100(2) : 237-246.
- Blackman, R. L. and V. F. Eastop. 1986. Aphids on the world's crops: An identification and information guide. John Wiley and Sons, city, country. 466.
- Cevik, V. and G. King. 2002. High-resolution genetic analysis of the Sd-1 aphid resistance locus in *Malus* spp. *Theor Appl Genet* August. 105 : 346-354.
- Diaz-Montano, J. C., J. L. Reese, R. C. Leslie, and T. S. William. 2007. Feeding Behavior by the Soybean Aphid (Hemiptera: Aphididae) on Resistant and Susceptible Soybean Genotypes. *Journal of Economic Entomology*. 333(6) : 566-573.
- Gregory, P. J., S. N. Johnson, A. C. Newton, and J. S. I. Ingram. 2009. Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *J. Exp. Bot.* 60 : 2827-2838.
- Hany, A. El-Shemy. 2013. Soybean-pest resistance. Intech. Rijeka.
- Hesler, L. S. and K. E. Dashiell. 2011. Antixenosis to the soybean aphid in soybean lines. *Open Entomol. J.* 5 : 39-44.
- Hill, C. B., L. Crull, T. K. Herman, D. J. Voegtlin, and G. L. Hartman. 2010. A new soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) biotype identified. *Journal of Economic Entomology*. 103(2) : 509-515.
- Hill, C. B., Y. Li, and G. L. Hartman. 2004. Resistance of Glycine species and various cultivated legumes to the soybean aphid (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.* 97 : 1071-1077.
- Hill, C. B., Y. Li, and G. L. Hartman. 2006a. A single dominant gene for resistance to the soybean aphid in the soybean cultivar Dowling. *Crop Sci.* 46 : 1601-1605.
- Hill, C. B., Y. Li, and G. L. Hartman. 2006b. Soybean aphid resistance in soybean Jackson is controlled by a single dominant gene. *Crop Sci.* 46 : 1606-1608.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 976.
- Jeon, H. Y. and H. H. Kim. 2006. Damage and seasonal occurrence of major insect pests by cropping period in environmentally friendly lettuce greenhouse. *Korean J. Appl. Entomol.* 45 :

- 275-282.
- Lee, J. S., M. H. Yoo, J. K. Jung, K. D. Bilyeu, J. D. Lee, and S. T. Kang. 2015. Detection of novel QTLs for foxglove aphid resistance in soybean. *Theor Appl Genet.* 128 : 1481-1488.
- Lee, S. G., H. H. Kim, T. H. Kim, G. J. Park, K. H. Kim, and J. S. Kim. 2008. Development Model of the Foxglove Aphid, *Aulacorthum solani* (Kaltenbach) on Lettuce. *Korean Journal of Applied Entomology.* 47 : 359-364.
- Li, Y., C. B. Hill, and G. L. Hartman. 2004. Effect of three resistant soybean genotypes on the fecundity, mortality, and maturation of soybean aphid (Homoptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology.* 97(3) : 1106-1111.
- MAFRA. 2017. Agriculture, Food and Rural Affairs Statistics Yearbook, 2017. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Republic of Korea.
- Mensah, C., C. DiFonzo, R. L. Nelson, and D. Wang. 2005. Resistance to soybean aphid in early maturing soybean germplasm. *Crop Science.* 45(6) : 2228-2233.
- Mian, M. A. R., S. T. Kang, S. E. Beil, and R. B. Hammond. 2008. Genetic linkage mapping of the soybean aphid resistance gene in PI 243540. *Theor Appl Genet.* 117 : 955-962.
- Ohnishi, S., N. Miyake, T. Takeuchi, F. Kousaka, S. Hiura, O. Kanehira, and Y. Tanaka. 2012. Fine mapping of foxglove aphid (*Aulacorthum solani*) resistance gene *Raso1* in soybean and its effect on tolerance to Soybean dwarf virus transmitted by foxglove aphid. *Breeding science.* 61(5) : 618-624.
- Sato, D., H. Akashi, M. Sugimoto, M. Tomita, and T. Soga. 2013. Metabolomic profiling of the response of susceptible and resistant soybean strains to foxglove aphid, *Aulacorthum solani* Kaltenbach. *Journal of Chromatography.* 925 : 95-103.
- Sato, D., M. Sugimoto, H. Akashi, M. Tomita, and T. Soga. 2014. Comparative metabolite profiling of foxglove aphids (*Aulacorthum solani* Kaltenbach) on leaves of resistant and susceptible soybean strains. *Molecular BioSystems.* 10(4) : 909-915.
- Wang, S., X. Bao, Y. Sun, R. Chen, B. Zhai, and X. Bao. 1996. Effects of Soybean Aphid, *Aphis glycines* on Soybean Growth and Yield. *Soybean Science.* 15(3) : 243-247.
- Zhang, G. R., C. H. Gu, and D. C. Wang. 2009. Molecular mapping of soybean aphid resistance genes in PI 567541B. *Theor. Appl. Gen.* 118 : 473-482.