

Note | Open Access

영세농가 콩 재배지의 *Soybean mosaic virus*, *Soybean yellow mottle mosaic virus* 및 *Soybean yellow common mosaic virus* 병 발생 조사

조승희¹ · 김정규¹ · 이미가¹ · 서은영¹ · 임승모^{2,3} · 홍석명⁴ · 문제선^{2,3} · John Hammond⁵ · 임현섭^{1*}

¹충남대학교 응용생물학과, ²한국생명공학연구원 그린바이오연구센터,

³과학기술연합대학원대학교 시스템생명공학과, ⁴(주)제노레버코리아, ⁵미국국립농업과학연구소 화훼연구부

Occurrence of Three Major Soybean Viruses, *Soybean mosaic virus*, *Soybean yellow mottle mosaic virus* and *Soybean yellow common mosaic virus* Revealed by a Nationwide Survey of Subsistence Farming Soybean Fields

Seunghye Cho¹, Jungkyu Kim¹, Meijia Li¹, Eunyoung Seo¹, Seungmo Lim^{2,3}, Seok Myeong Hong⁴, Jae Sun Moon^{2,3}, John Hammond⁵ and Hyoum-Sub Lim^{1*}

¹Department of Applied Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Greenbio Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Daejeon 305-333, Korea

³Department of Biosystems and Bioengineering, University of Science and Technology, Daejeon 305-350, Korea

⁴GenoRevo Korea Co., Ltd., Suwon 441-853, Korea

⁵United States Department of Agriculture-Agrocultural Research Service, Floral and Nursery Plants Research Unit, Beltsville, Maryland, 20705, USA

(Received on October 7, 2013; Revised on October 29, 2013; Accepted on November 4, 2013)

Soybean yellow mottle mosaic virus (SYMMV) and *Soybean yellow common mosaic virus* (SYCMV) were recently isolated in Korea, and it has not been reported how two viruses were dispersed in Korea. In 2012, we performed nationwide survey in subsistence soybean farming. Suspicious virus-infected leaf were collected from the field and a total of 682 soybean tissue samples were assayed by RT-PCR using triplex primers detecting SYMMV, SYCMV, and *Soybean mosaic virus* (SMV). On hundred two samples showed SMV positive, and SYMMV and SYCMV were detected in 116 and 17 tissue samples, respectively. No sample showed double infection of SYMMV and SYCMV, but there were double infection tissues indicating two viruses positive of SMV plus SYMMV (5 tissue samples) and SMV plus SYCMV (1 tissue sample). Through this first subsistence soybean farming field survey, we assumed soybean viruses were originated from home seed production managed by farmer. Thus, in order to prevent possible seed transmission and further damage caused by virus transmission, virus-free commercial soybean seeds are recommended to be planted.

Keywords : Double infection, Soybean field, *Soybean mosaic virus*, *Soybean yellow common mosaic virus*, *Soybean yellow mottle mosaic virus*

대두(*Glycine max*)는 동아시아 지역이 원산지이며(Xu 등, 2002), 장미목(Rosales)에 속하는 1년생 작물이다(Kitur 등, 1994). 콩은 단백질과 지방 함량이 높고, 8개의 필수

아미노산을 함유하고 있는 세계적으로 중요한 작물 중 하나이다(Dudek, 2001; Morrison과 Hark, 1999). 또한, 주요 식물성 단백질 공급원이며 암 예방에 도움을 주는 식물성 에스트로겐을 함유하고 있어(Evans 등, 1995; Folkman 등, 1992; Harper 등, 1996; Rice-Evans 등, 1995) 국내에서의 콩 수요와 생산량 또한 해마다 증가하고 있다. 국내 콩 생산량 증가에 따라, 영세농가의 손실을 유발할 수 있

*Corresponding author

Phone) +82-42-821-5766, Fax) +82-42-823-8679

Email) hyounlim@cnu.ac.kr

는 콩 감염 바이러스 발생도 해마다 증가하고 있다. 최근 Lee 등(2012)은 전국의 원종장, 원원종장, 농가포장에서 *Soybean mosaic virus*(SMV) (73.1%), *Soybean yellow mottle mosaic virus*(SYMMV) (7.3%), *Soybean yellow common mosaic virus*(SYCMV) (2.6%), *Peanut stunt virus*(PSV) (4.1%) 등이 분포되어 있다고 보고하였다. 국내에서는 SMV가 대표적인 콩 바이러스로서 감염 피해가 보고되고 있으나, 미국의 최대 콩 생산지역인 중부지역에서는 SMV의 감염 사례가 나타나지 않는 것으로 보고되고 있다(Jossey 등, 2013). 국내 콩 재배 지역에서의 SMV 감염은 국내 영세농가의 콩 바이러스병 관리체계가 미비함을 단적으로 보여주는 사례가 된다. 현재까지 국내 콩 바이러스에 관한 역학적인 자료는 SMV와 최근에 콩 재배지에서 검출된 SYMMV 및 SYCMV(Nam 등, 2009, 2011) 등을 중심으로 보고되었으나, 영세농가만을 대상으로 하는 바이러스 분포 조사는 아직 이루어지지 않았다. 따라서 체계적인 조사를 바탕으로 영세농가에 대해 효율적인 콩 바이러스 관리방안을 수립하기 위하여 자가 채종으로 콩을 재배하는 곳만을 대상으로 2012년 전국적인 실태조사를 실시하였다. 조사 대상 바이러스 중 SMV는 Potyviridae과(科, family) Potyvirus속(屬, genus) 바이러스로, 진딧물을 통한 근충매개와 종자감염이 보고되고 있으며(Domier 등, 2011), SYMMV는 Tombusviridae(科, family) Carmovirus(屬, genus) 바이러스로 종자감염과 근충전염은 국내에서 아직 보고된 바가 없다. 또한, SYCMV는 Tombusviridae(科, family) Sobemovirus(屬, genus) 바이러스로 SYMMV와 같이 매개근충 및 전염방법에 대한 세부 연구는 이루어지지 않았다. 본 연구자들은 SMV, SYMMV, SYCMV 각각의 바이러스 분포 양상을 조사하기 위해서 도서지역을 제외한 국내 전 지역에서 주로 자가 채종으로 콩을 재배하는 농가를 중심으로 시료를 채집하고 조사하였다. 본 조사 결과를 바탕으로 콩 재배지역의 바이러스 병 분포 현황을 확인할 수 있을 것으로 예상되며, 바이러스 병 예방 및 방제 대책 수립에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

바이러스병 분포. 콩에 감염된 바이러스를 확보하기 위해서 2012년 5월부터 10월까지 6개월에 걸쳐 시료를 채집하였다(Fig. 1). 전국에 분포하는 콩 생산 농가 중, 콩 종자를 기관이나 회사에서 분양받아 재배한 농가는 시료 채집 대상에서 제외하였으며, 주로 자가 채종으로 2년 이상을 순환시켜 재배한 콩 생산 농가를 시료 채집 대상으로 하였다. 시료는 모자이크(mosaic), 위축(dwarf), 얼룩(mottle), 황화(yellowing), 괴사(necrosis) 등 바이러스 감염 의심 증상이 관찰된 콩의 어린 잎(상엽)을 대상으로



Fig. 1. Geographical distribution of collection sites of soybean samples.

채집하였다(Fig. 2). 채집은 국내 전 지역에서 수행되었고, 콩 재배 농가가 많은 중부지방의 경기도, 충청북도, 경상북도에서 가장 많은 시료 채집이 이루어졌으며, 강원도와 전라도 지역에서는 상대적으로 적은 수의 시료 채집이 이루어졌다. 2012년 5월부터 6개월간, 국내 전역의 영세농가를 중심으로 총 682점의 바이러스 감염 추측 시료를 채집하였다. 채집된 시료는 Lim 등(2005)에 제시된 방법으로 total RNA를 추출하고 cDNA를 합성한 후 미국 국립생물정보센터(National Center for Biotechnology Information, NCBI)의 SMV(NC_002634.1), SYMMV(NC_011643.1), SYCMV(NC_016033)의 유전정보를 바탕으로 프라이머를 제작하여(Table 1) PCR을 통해 바이러스를 진단하였다(Nakajima 등, 2005). 총 682점의 샘플 중, SMV는 102점, SYMMV는 116점, SYCMV는 17점으로 진단되었다(Table



Fig. 2. Typical symptoms of soybeans infected with: **A**, *Soybean mosaic virus*; **B**, *Soybean yellow mottle mosaic virus*; and **C**, *Soybean yellow common mosaic virus*.

Table 1. Nucleic acid sequence of oligonucleotide primers used in this study

| Virus | Primer name | Sequence of primer | PCR products (bp) |
|--------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| SMV ^a | SM_F (5' oligo) | GAACAAAGCAAGATAGCATG | 890 |
| | SM_R (3' oligo) | TGTGTAGACTATCTCAGCAT | |
| SYMMV ^b | SYMM_F34 (5' oligo) | CAACCCTCAGCCACATTCAACTAT | 597 |
| | SYMM_R40 (3' oligo) | TCTAACCACCCACCCGAAGGATT | |
| SYCMV ^c | SM3_F1 (5' oligo) | TTGGCTGAGAGGAGTGGCTT | 346 |
| | SM3_R1 (3' oligo) | TGCGGTCGTGTAGTCAGTG | |

^a*Soybean mosaic virus.*

^b*Soybean yellow mottle mosaic virus.*

^c*Soybean yellow common mosaic virus.*

Table 2. Locations of collection of soybean-tissue samples and RT-PCR results

| Sample No. | Localization | Date | Viruses detected | | |
|--|--------------------------|------------|------------------|--------------------|--------------------|
| | | | SMV ^b | SYCMV ^c | SYMMV ^d |
| A013 | Pohang | 2012-06-21 | | | ● |
| A018, A019, A022, A023 | Yeongcheon | 2012-06-21 | | | ● |
| A025 | Pohang | 2012-06-21 | ● | | |
| A026, A027, A028, A029, A030, A031, A032, A033 | Muju | 2012-06-26 | ● | | |
| A050, A051, A056, A057, A062, A063, A065 | Iksan, Gunsan | 2012-07-06 | | | ● |
| A069 | Boryung, Seosan | 2012-07-06 | | ● | |
| A072, A073, A087, A088, A090, A095, A096, A097 | Boryung, Seosan | 2012-07-06 | | | ● |
| A109 | Eumseong, Chungju, Yeosu | 2012-07-12 | | | ● |
| A110, A137 | Eumseong, Chungju, Yeosu | 2012-07-12 | | ● | |
| A141 | Icheon, Anseong | 2012-07-12 | ● | | |
| A142, A143, A144 | Icheon, Anseong | 2012-07-12 | | | ● |
| A155, A157 | Jincheon | 2012-07-12 | ● | | |
| A166, A171 | Yeongi, Jochiwon | 2012-07-13 | | | ● |
| A178, A179, A190, A203, A205 | Boeun | 2012-07-17 | | | ● |
| A201, A202, A206 | Boeun | 2012-07-17 | ● | | |
| A213, A216, A217, A218, A219, A221, A222, A223 | Hamyang, Daegu | 2012-07-19 | | | ● |
| A214, A215, A238 | Hamyang, Daegu | 2012-07-19 | ● | | |
| A242, A243, A245, A246, A247, A271 | Seongju, Gumi, Gimcheon | 2012-07-19 | | | ● |
| A251, A253, A254, A255, A256, A257, A260, A261, A262, A265, A266, A267, A268 | Seongju, Gumi, Gimcheon | 2012-07-19 | ● | | |
| A263, A264 | Seongju, Gumi, Gimcheon | 2012-07-19 | | ● | |

Table 2. Continued

| Sample No. | Localization | Date | Viruses detected | | |
|--|--------------------------------------|------------|------------------|--------------------|--------------------|
| | | | SMV ^b | SYCMV ^c | SYMMV ^d |
| A269, A270^a | Gimcheon | 2012-07-19 | ● | | ● |
| A273, A283 | Buyeo | 2012-07-22 | | ● | |
| A279, A282, A284, A285, A290, A291, A292, A293, A294 | Buyeo | 2012-07-22 | | | ● |
| A297, A298, A299, A300, A301, A302, A303, A304, A305, A306, A307, A309, A310, A311, A312, A313, A315, A316, A317, A318, A319, A320, A321, A322, A323 | Gangneung | 2012-07-24 | ● | | |
| A324, A325, A326, A327, A328, A329, A330 | Taebaek, Samcheok | 2012-07-25 | | | ● |
| A331, A332, A333, A334, A335 | Bonghwa, Andong | 2012-07-25 | ● | | |
| A339, A340, A341, A345 | Sangju, Okcheon | 2012-07-26 | ● | | |
| A346, A353 | Sangju, Okcheon | 2012-07-26 | | | ● |
| A357, A368, A369, A371, A374, A375, A376 | Nonsan | 2012-07-29 | | | ● |
| A380, A381 | Jinju | 2012-08-01 | | | ● |
| A382 | Jinju | 2012-08-01 | | ● | |
| A385, A386, A391, A392, A393, A397, A398 | Jinju | 2012-08-01 | ● | | |
| A400, A403, A408 | Hadong | 2012-08-01 | | | ● |
| A406, A412 | Hadong | 2012-08-01 | ● | | |
| A407 | Hadong | 2012-08-01 | ● | | ● |
| A414, A415, A418 | Gwangyang | 2012-08-01 | ● | | |
| A420 | Gwangyang | 2012-08-01 | | | ● |
| A426 | Gwangju | 2012-08-01 | ● | | |
| A429, A430 | Damyang, Suncheon | 2012-08-01 | | | ● |
| A431, A432, A443, A444, A445 | Cheongju | 2012-08-05 | | | ● |
| A446, A447, A448 | Cheongju | 2012-08-05 | ● | | |
| A455, A458, A473, A474 | Gapyeong, Yangpyeong | 2012-08-07 | ● | | |
| A463, A469, A470, A471, A472 | Gapyeong, Yangpyeong | 2012-08-07 | | | ● |
| A475, A479, A480 | Chuncheon, Hongcheon | 2012-08-08 | ● | | |
| A477 | Chuncheon, Hongcheon | 2012-08-08 | | | ● |
| A478 | Chuncheon, Hongcheon | 2012-08-08 | ● | | ● |
| A481 | Suwon, PyeongTaek, Anseong, Hwaseong | 2012-08-09 | ● | ● | |
| A482, A485, A487, A488, A490, A497 | Suwon, PyeongTaek, Anseong, Hwaseong | 2012-08-09 | ● | | |
| A491, A492, A493 | Suwon, PyeongTaek, Anseong, Hwaseong | 2012-08-09 | | | ● |
| A502, A503, A504, A505, A507, A510, A511, A520 | Yeongdong | 2012-08-11 | | | ● |
| A506 | Yeongdong | 2012-08-11 | ● | | ● |
| A508, A509 | Yeongdong | 2012-08-11 | ● | | |
| A512, A513, A514, A515, A516 | Yeongdong | 2012-08-11 | | ● | |
| A547, A548, A549 | Sokcho, Uljin | 2012-08-14 | | ● | |
| A555, A556, A558, A559 | Sokcho, Uljin | 2012-08-14 | | | ● |
| A563, A569, A570, A576 | Cheongsong | 2012-08-15 | | | ● |

^aBold font indicates that double infection were detected in six samples (A269, A270, A407, A478, A481, A506).

^bSoybean mosaic virus.

^cSoybean yellow common mosaic virus.

^dSoybean yellow mottle mosaic virus.

2). SMV와 SYMMV는 발생기간이 대체적으로 평이하고 국내 여러 지역에 고루 분포하지만, SYCMV는 조사 초기보다 조사 후기에 더 많이 발생하며 일부 지역에 국한되어 분포함을 확인하였다.

복합감염. 콩 바이러스 감염 진단 결과, 단독감염 뿐만 아니라 복합감염 시료도 발견되었는데, SMV와 SYMMV 복합감염 결과는 다섯 지역의 샘플에서, SMV와 SYCMV 복합감염 결과는 1개 지역의 샘플에서 발견되었다(Fig. 3). 하지만 SYMMV와 SYCMV의 동시감염은 검출되지

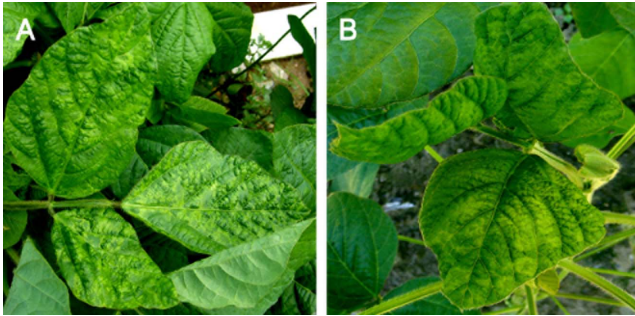


Fig. 3. Mosaic symptoms of soybean double infected with: **A**, *Soybean mosaic virus* and *Soybean yellow mottle mosaic virus*; and **B**, *Soybean mosaic virus* and *Soybean yellow common mosaic virus*.

않았다. 복합감염 샘플에서 두 종류의 바이러스의 RNA 수(Copy number)를 비교하기 위하여 real time-qPCR 프라이머를 제작하였다(Table 3). 프라이머는 SMV(NC_002634.1), SYMMV(NC_011643.1), SYCMV(NC_016033)의 coat protein, *Glycine max*의 tubulin(NM_001250372)을 바탕으로 제작하였고, 프라이머를 이용한 결과물의 크기는 각각 110–118 bp가 되도록 하였으며, Tm 값은 62.2(±0.5)로 제작하였다. 1차 복합감염 판정을 받은 샘플에서 Lim 등(2005)에서 제시된 방법으로 cDNA를 제작하여 tubulin 유전자를 internal standard로 하고 iQ™ SYBR Green Supermix kit(Bio-Rad)를 이용하여 각각의 바이러스 RNA 수(Copy number)를 SMV와 비교정량 분석하였다(Bae 등, 2007). Real time-qPCR을 통해 복합감염된 것으로 진단된 시료를 지역 및 날짜별로 나누어 확인한 결과, SMV와 SYMMV가 복합감염 된 것으로 확인된 A269(김천), A270(김천), A506(영동)에서 채집된 시료의 SMV와 SYMMV 사이에 RNA 수(Copy number)는 차이가 없었으나, A407(하동), A478(춘천/홍천)에서 채집된 시료에서는 SMV RNA 수(Copy number)가 17배에서 1,800배 이상 많은 것으로 측정되었다(Table 4). 그리고 SMV와 SYCMV와의 복합감염에서는 SMV보다 SYCMV

Table 3. Nucleic acid sequence of oligonucleotide primers used for multiplex realtime-qPCR of *Soybean mosaic virus* (SMV), *Soybean yellow mottle mosaic virus* (SYMMV), *Soybean yellow common mosaic virus* (SYCMV) and tubulin

| Virus | Primer name | Sequence of primer | PCR products (bp) |
|---------|----------------------------|-------------------------|-------------------|
| SMV | SMV_CP_RT_2-F (5' oligo) | AGTCCGTATATGCCTAGATATGG | 115 |
| | SMV_CP_RT_2-R (3' oligo) | CTCCCTTGCCCTGTTT | |
| SYMMV | SYMMV_CP_RT_2-F (5' oligo) | CTCACCATTGCCCAACTC | 118 |
| | SYMMV_CP_RT_2-R (3' oligo) | TGCTGCTGACTTCCTTGA | |
| SYCMV | SYCMV_CP_RT_1-F (5' oligo) | AGTACGCTTGGATCTCAGT | 117 |
| | SYCMV_CP_RT_1-R (3' oligo) | TAACGGATACGGGCACAG | |
| Tubulin | Sobean_Tublin-F (5' oligo) | CTAAGGATGTCAATGCTGCT | 110 |
| | Sobean_Tublin-R (3' oligo) | AGAAGGTGGCTGGTAGTT | |

Table 4. Real-time qPCR of soybeans double infected with *Soybean mosaic virus* (SMV) / *Soybean yellow mottle mosaic virus* (SYMMV) and SMV / *Soybean yellow common mosaic virus* (SYCMV)

| Date | SMV / SYMMV | | | SMV / SYCMV | |
|----------------------|-------------------------|------------|----------------------|-------------|------------|
| | 2013-07-19 | 2013-08-01 | 2013-08-08 | 2013-08-11 | 2013-08-09 |
| Location | Gimcheon | Hadong | Chuncheon, Hongcheon | Yeongdong | Suwon |
| Sample no. | A269, A270 ^a | A407 | A478 | A506 | A481 |
| Δct_1^b | 10.8 | 6.7 | 10.1 | 7 | 6.3 |
| Δct_2^c | 12.6 | 2.7 | -0.7 | 7.7 | 10.8 |
| $\Delta \Delta ct^d$ | -1.7(0.31) ^e | 4.1(17.15) | 10.8(1782.89) | -0.7(0.62) | -4.5(0.04) |

^aTissue samples were mixed.

^b Δct_1 (ct value of tubulin – ct value of SMV).

^c Δct_2 (ct value of tubulin – ct value of SYMMV or SYCMV).

^d $\Delta \Delta ct$ shows value of $\Delta ct_1 - \Delta ct_2$.

^e $2^{[\Delta ct_1 - \Delta ct_2]}$.

가 약 23배 많은 RNA 수(Copy number)를 나타냈다. 전체적인 복합감염 조사 결과 우위를 차지하는 바이러스는 없었으나, 1, 2차 감염 또는 동시감염에 따라 한 종류의 바이러스가 우점으로 나타날 수 있을 것으로 추측된다.

이상과 같이 전국의 콩 시료를 채집하여 SMV, SYMMV, SYCMV의 바이러스 발생 및 분포양상을 확인한 결과, SMV와 SYMMV는 채집기간 동안 지속적으로 발생하고, 국내 영세농가에 골고루 분포하였다. 그에 비해 SYCMV는 다른 두 바이러스에 비해 발생 횟수가 매우 적게 나타났다. 여름 초기보다는 중후기에 주로 발생하였다. 또한, 2012년 조사를 통해 SMV-SYMMV, SMV-SYCMV 복합감염을 확인함으로써 새로운 양상의 콩 바이러스 병이 증가되고 있음을 알 수 있었다. 상기 결과를 통해, 국내 영세농가에서 SMV, SYMMV, SYCMV 등 바이러스 이병종자 관리가 제대로 이루어지지 않아 바이러스 병의 종류가 다양해지는 것으로 짐작할 수 있다. 따라서 영세농가의 이병종자 관리에 관한 교육과 무병종자 공급이 콩 바이러스병 감소를 위한 최선의 방법일 것으로 사료된다.

요 약

Soybean yellow mottle mosaic virus(SYMMV)와 *Soybean yellow common mosaic virus*(SYCMV) 병 발생은 최근에 우리나라에 보고되었지만 두 바이러스 병의 전국적인 분포에 대한 조사가 이루어지지 않아 본 연구팀은 2012년에 영세 농가를 중심으로 전국적인 조사를 실시하였다. 전국에 걸쳐 채집한 682점의 시료를 SYMMV, SYCMV, 그리고 *Soybean mosaic virus*(SMV) 특이 프라이머를 이용하여 진단한 결과, SMV 102점, SYMMV 116점, SYCMV는 17점이 PCR 양성으로 나타났다. SYMMV와 SYCMV의 복합감염은 검출되지 않았으나, SMV와 SYMMV 혹은 SMV와 SYCMV 복합감염은 각각 1건과 5건이 확인되었다. 처음으로 실시한 영세농가의 콩 바이러스 병 조사를 근거로 추정할 때, 바이러스의 발생은 자가 채종으로 인한 종자전염으로부터 발생되었을 것으로 추정된다. 따라서 바이러스 병의 예방을 위해서는 감염종자 관리 및 무병종자 보급이 무엇보다 필요함을 알 수 있다.

Acknowledgments

This study was financially supported by research fund of Chungnam National University in 2011.

References

- Bae, H. H., Kim, M. S., Sicher, R. C., Bae, H. J. and Bailey, B. A. 2006. Necrosis- and ethylene-inducing peptide from *Fusarium oxysporum* induces a complex cascade of transcripts associated with signal transduction and cell death in arabidopsis^[W]. *Plant Physiol.* 141: 1056–1067.
- Domier, L. L., Hobbs, H. A., McCoppin, N. K., Bowen, C. R., Steinlage, T. A., Chang, S. Y., Wang, Y. and Hartman G. L. 2011. Multiple loci condition seed transmission of *Soybean mosaic virus* (SMV) and SMV-induced seed coat mottling in soybean. *Phytopathology* 101: 750–756.
- Dudek, S. G. 2001. Nutrition essentials for nursing practice (4th ed.). *Philadelphia: Lippincott.*
- Evans, B. A., Griffiths, K. and Morton, M. S. 1995. Inhibition of 5 alpha-reductase in genital skin fibroblasts and prostate tissue by dietary lignans and isoflavonoids. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 147: 295–302.
- Folkman, J. and Shing, Y. 1992. Angiogenesis. *J. Biol. Chem.* 267: 10931–10934.
- Harper, M. E., Glynne-Jones, E., Goddard, L., Thurston, V. J. and Griffiths, K. 1996. Vascular endothelial growth factor (VEGF) expression in prostatic tumours and its relationship to neuroendocrine cells. *Br. J. Cancer.* 74: 910–916.
- Jossey, S., Hobbs, H. A. and Domier, L. L. 2013. Role of *Soybean mosaic virus*-encoded proteins in seed and aphid transmission in soybean. *Phytopathology* 103: 941–948.
- Kitur, B. K., Phillips, S. R., Olson, K. R. and Ebelhar, S. A. 1994. Tillage effects on selected chemical properties of grantsburg silt loam1. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 3–4.
- Lee, Y. H., Lim, S. T., Yoon, Y. N., Jeon, M. G., Yun, H. T., Ko, J. M., Lee, S. H., Lee, K. W. and Baek, I. Y. 2012. Incidence of soybean viral diseases in Korea. *Korea Soybean Digest.* 29: 7–15.
- Lim, H. S., Ko, T. S., Lambert, K. N., Kim, H. G., Korban, S. S., Hartman, G. L. and Domier, L. L. 2005. *Soybean mosaic virus* helper component-protease enhances somatic embryo production and stabilizes transgene expression in soybean. *Plant Physiol. Biochem.* 43: 1014–1021.
- Lim, H. S., Vaira, A. M., Reinsel, M. D., Bae, H. H., Bailey, B. A., Domier, L. L. and Hammond, J. 2010. Pathogenicity of *Alternanthera mosaic virus* is affected by determinants in RNA-dependent RNA polymerase and by reduced efficacy of silencing suppression in a movement-competent TGB1. *J. Gen. Virol.* 91: 2102–2115.
- Nakajima, A., Usui, M., Huy, T. T. T., Hlaing, N. K. T., Masaki, N., Sata, T. and Abe, K. 2005. Full-length sequence of hepatitis B virus belonging to genotype H identified in a Japanese patient with chronic hepatitis. *Jpn. J. Infect. Dis.* 58: 244–246.
- Nam, M., Kim, J. S., Park, S. J., Park, C. Y., Lee, J. S., Choi, H. S.,

- Kim, J. S., Kim, H. G., Lim, S. M., Moon, J. S. and Lee, S. H. 2011. Biological and molecular characterization of *Soybean yellow common mosaic virus*, a new species in the genus Sobemovirus. *Virus Res.* 163: 363–367.
- Nam, M., Kim, S. M., Domier, L. L., Koh, S., Moon, J. K., Choi, H. S., Kim, H. G., Moon, J. S. and Lee, S. H. 2009. Nucleotide sequence and genomic organization of a newly identified member of the genus Carmovirus, *Soybean yellow mottle mosaic virus*, from soybean. *Arch Virol.* 154: 1679–1684.
- Parks, T. D., Howard, E. D., Wolpert, T. J., Arp, D. J. and Dougherty, W. G. 1995. Expression and purification of a recombinant *Tobacco etch virus* NIa proteinase: Biochemical analyses of the full-length and a naturally occurring truncated proteinase form. *Virology* 210: 194–201.
- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., Bolwell, P. G., Bramley, P. M. and Pridham, J. B. 1995. The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids. *Free Radical Res.* 22: 375–383.
- Xu, D. H., Abe, J., Gai, J. Y. and Shimamoto, Y. 2002. Diversity of chloroplast DNA SSRs in wild and cultivated soybeans: evidence for multiple origins of cultivated soybean. *Theor. Appl. Genet.* 105: 645–653.