

우리나라 화훼류 파이토플라스마병의 특성

정봉남* · 정명일 · 최국선

국립원예특작과학원

Characterization of Phytoplasmal Disease Occurred on Floricultural Crops in Korea

Bong Nam Chung*, Myeong Il Jeong and Gug Sun Choi

National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Suwon 440-310, Korea

(Received on March 18, 2011; Revised on October 11, 2011; Accepted on October 28, 2011)

Seven phytoplasma diseases have been occurred on floricultural crops in Korea : Ph-ch1 and Ph-ch2 of chrysanthemum, Ph-lily of lily, petunia flat stem-Korean (PFS-K) of petunia, poinsettia branch inducing-Korean (PoiBI-K) of poinsettia, statis witches' broom-Korean (SWB-K) of statis and azalea witches broom (AWB). Classification of the seven phytoplasmal diseases based on 16S ribosomal RNA (rRNA) sequences showed that floricultural crop phytoplasma disease were widespread in order of aster yellow (AY), stolbur and X-disease in Korea. In phenotypic characters, the fasciation was occurred in both monocotyledon plant of lily and dicotyledon plants of petunia and poinsettia. Besides, the fasciation was occurred in Ph-lily of stolbur, petunia PFS-K of AY and PoiBI-K of X-disease. This result indicated that phytoplasma classification based on 16S rRNA and symptoms are not consistently related. The comparison of 16S rRNA sequence of the seven floricultural crop phytoplasma with five tree phytoplasmal diseases of jujube witches' broom, paulownia witches' broom, wild jujube witches' broom, mulberry dwarf, golden rain phytoplasma occurred in Korea showed as high as 88.5-99.9% homology. Among them, especially mulberry dwarf showed the highest homology with the seven floricultural crop phytoplasmas. Based on this result, floricultural crop phytoplasmas were assumed to be transmitted by insect vectors from tree phytoplasmas in Korea.

Keywords : Chrysanthemum, Lily, Petunia, Poinsettia, Statis

서 론

파이토플라스마는 식물의 체관부 조직에 한정되어 존재하는 식물 병원성 원핵생물이다(Hopkins, 1977). 이 병원균은 식물에 황화, 위축 및 빗자루병을 일으키는데, 1967년에 파이토플라스마병이 발견된(Doi 등, 1967) 이후 세계적으로 수백 종류의 파이토플라스마병이 다양한 식물에서 보고되었다(McCoy 등, 1989).

파이토플라스마는 많은 화훼류에서 병을 일으킨다. 예를 들면 포인세티아(*Euphorbia pulcherrima*)의 분지성 증가(Lee 등, 1997), 글라디올러스 알뿌리의 조기 발아(Hiruki 등, 1994), 튜울립의 황화, 위축 및 꽃잎 녹색화(Smookler와

Dabush, 1974), 라난큐러스 및 수국(*Hydrangea macrophylla*)의 꽃잎 녹색화(Hiruki 등, 1994), 유채의 꽃잎 녹색화, 꽃잎 크기 감소(Bertaccini 등, 1990) 및 장미에서 잎마름, 로젯트, 빗자루병 및 신초 번무 증상(Kamińska와 Śliwa, 2004)을 일으킨다.

그 외 과꽃(*Callistephus chinensis*), 메리골드(*Tagetes patula* L.), 밀짚꽃(*Helichrysum bracteatum* Willd), 스타티스(*Limonium sinuatum* Mill), 안개초(*Gypsophila paniculata* L.), 데이지(*Bellis perennis* L.) 등이 파이토플라스마병에 감염되며, 증상은 일반적으로 황화, 잎이 구리빛 또는 붉은색으로 변하거나 마르며, 비정상적으로 액아가 많이 형성되고, 상향 생장과 꽃 기형 등의 증상을 나타낸다. 꽃은 대부분 불임이 되며 크기가 작아지거나 꽃잎이 녹색화되며 괴사된다(Kamińska와 Malinowski, 1996).

마가렛 데이지(*Chrysanthemum frutescens*)의 aster yellows (AY)의 파이토플라스마 감염에 의한 증상은 위축, 황화,

*Corresponding author

Phone) +82-31-290-9236, Fax) +82-31-290-6259

Email) chbn7567@korea.kr

꽃잎의 녹색화와 꽃이 잎으로 변하며(Bertaccini 등, 1992; Bertaccini 등, 1990; Conti 등, 1988), 데이지(*C. carinatum*)는 빗자루병 증상을 나타낸다(Conti 등, 1988). 과꽃(Aster)은 엽맥투명화 및 위축과 함께 비정상적으로 많은 측지를 형성한다(Kunkel, 1926). 나리(*Lilium martagen*)는 대화(fasciation) 증상(Chung과 Jeong, 2003; Voráčková 등, 1998) 또는 꽃잎 녹색화, 화기 구조의 기형 등이 알려져 있다(Bertaccini와 Marani, 1982).

우리나라에서 화훼류에 발생한 파이토플라스마병의 증상 및 분자계통학적 특성에 관하여 살펴보았다.

본 론

우리나라 화훼류에 발생한 파이토플라스마병의 증상 특성. 국화(*Dendranthema grandiflorum*)로부터 서로 다른 그룹에 속하는 두 종의 파이토플라스마병이 보고되었다(Chung 등, 2001; Chung과 Kim, 2005). AY 파이토플라스마에 감염된 국화(Ph-ch1)는 황화, 위축 및 총생 증상과 함께 꽃이 피지 않고 뿌리의 생육이 불량해져 감염 후 일정 시기가 지난 후에는 고사된다. 반면 stolbur 그룹에 속하는 파이토플라스마에 감염된 국화(Ph-ch2)는 황화, 위축 및 엽맥투명화 증상을 나타낸다.

세계적으로 국화 속으로부터 파이토플라스마병이 발생하는 것은 황화 및 녹색화 증상을 보이는 마가렛 데이지로 불리는 *Agryranthemum frutescens*(*Chrysanthemum frutescens*) (Appiano 등, 1983)와 *Chrysanthemum carinatum*(Conti 등, 1988)에서 보고된 바 있으나 절화용 국화인 *Dendranthema grandiflorum*(이전의 *Chrysanthemum morifolium*)으로부터 보고된 것은 우리나라가 처음이다.

파이토플라스마는 계통에 따라서 자연 기주가 다른데 이는 매개충의 기주 가해습성에 영향을 받기 때문으로 알려져 있는데(Lee 등, 2000), 우리나라에서만 특이하게 나타난 stolbur 그룹의 파이토플라스마병 기주는 국화이다.

나리 파이토플라스마병(Ph-Lily)은 대화증상(fasciation), 줄기 정단부에 다수의 성장점 형성으로 인한 정단부의 잎 번무증상 및 절간장 단축으로 인하여 줄기 정단부에 꽃봉오리가 밀생하게 된다(Chung과 Jeong, 2003). 정상주에 비해 많은 수의 작은 크기의 꽃봉오리가 형성되며 개화가 되지 않거나 꽃잎이 찢어지기도 한다. 구근은 건전주에 비하여 크기가 작으며, 뿌리 발육이 불량하고 줄기에 혹 모양의 덩어리가 착생한다(Chung과 Jeong, 2003).

세계적으로 나리로부터 보고된 파이토플라스마병은 줄기가 납작해지는 기형증상을 나타내는 *Lilium martagen*에서 AY 그룹에 속하는 파이토플라스마병이 보고된 바

(Vorckov 등, 1998) 있으며, 위축, 꽃눈 기형증상을 나타내는 *L. longiflorum*, 오리엔탈 나리와 아시아틱 나리로부터 보고된 바(Kamińska와 Korbin, 2002) 있다.

Petunia flat stem-Korean(PFS-K) 파이토플라스마에 감염된 페튜니아는 줄기가 납작해지면서 꽃이 기형이 되고 꽃잎이 찢어지는 증상(Chung과 Huh, 2008)을 나타낸다(Chung과 Huh, 2008). 세계적으로 페튜니아에서 발생한 파이토플라스마병은 위축과 황화증상을 나타내는 페튜니아로부터 최초로 보고(Doi 등, 1967)되었으며, 중국에서 동정한 *petunia flat stem phytoplasma-C*(PFS-C)은 대화증상을 나타내어, 우리나라에서 보고한 PFS-K와 매우 유사한 증상을 나타내었다(미보고).

포인세티아의 경우 세계적으로 파이토플라스마병이 관상가치를 높이는데 매우 유용한 것으로 그동안 알려져왔다. 포인세티아는 파이토플라스마에 감염되면 피해증상은 전혀 나타나지 않고 오로지 분지성만 증가되기 때문에(Lee 등, 1997) 육종가들은 새로운 품종이 만들어지면 분지성 유도를 위하여 접목을 통하여 파이토플라스마병을 인위적으로 감염시키는 방법을 사용하고 있다.

그러나 우리나라에서 보고된 poinsettia stem branch inducing-K(PoiBI-K) 파이토플라스마에 감염된 포인세티아는 전혀 병징을 나타내지 않는 미국에서 보고한 peach X-disease 그룹의 파이토플라스마(Lee 등, 1991)와 16S rRNA 염기서열 상동성이 99.6%로 매우 높지만 파이토플라스마병의 전형적인 증상인 줄기 대화증상을 나타내면서 잎들이 총생하고 줄기 정단부에 많은 성장점들이 형성되어 닭벼슬 모양을 하며, 꽃봉오리가 비정상적으로 많이 형성되지만 꽃이 정상적으로 개화하지는 못한다(Chung과 Choi, 2010)(Fig. 1). 식물체에 따라서는 포엽이 가늘어지면서 말리는 증상도 나타난다. 이 결과로 포인세티아도 파이토플라스마병에 감염되면 품종에 따라서는 관상 가치 및 품질에 악영향을 미치는 것을 볼 수 있다.

우리나라에서 발생한 스타티스의 파이토플라스마병(statis witches' broom-K)은 빗자루병(witches' broom) 증상과 꽃대 비대 및 꽃의 불임증상과 함께 꽃색이 옅어지는 증상을 나타낸다(Chung 등, 2005). 폴란드에서 스타티스로부터 보고한 파이토플라스마병(Kamińska 등, 1996)은 잎과 꽃색이 옅어지면서 기형과 줄기가 고사하고 종자의 불임 증상을 나타내어 우리나라에서 보고한 증상과 매우 유사하다. 한편 일본에서 보고한 파이토플라스마병(Wakibe와 Guo, 1998)은 빗자루병 증상 외에 황화증상을 나타내어 우리나라에서 관찰된 증상과는 다소 다르다.

Azalea witches' broom 파이토플라스마병에 감염된 아잘레아는 줄기가 넓어지면서 납작해지고 줄기에 작은 잎

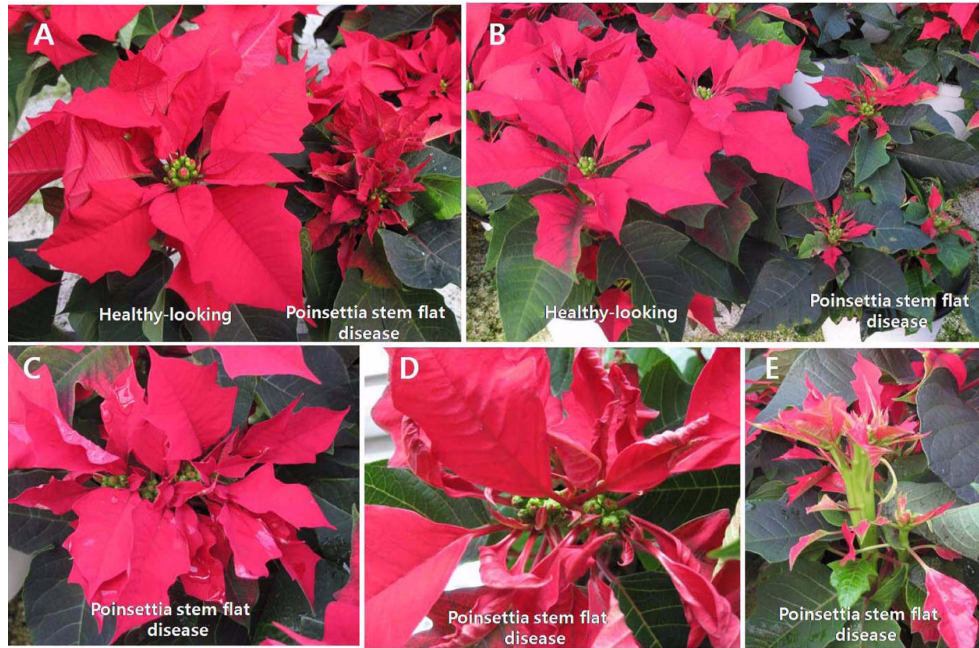


Fig. 1. Petunia plants infected by petunia branch inducing phytoplasma (PoiBI-K). **A:** fascicle of bracts, **B:** reduced size of bracts compared with healthy looking plant, **C:** abnormal number of flower buds due to multiple apices, **D:** malformed bracts and curling of bract edge and **E:** stem flat.



Fig. 2. Symptom of azalea witches' broom phytoplasma on azalea plant. Showing witches' broom, phyllody and fasciation.

이 총생하며 키가 자라지 않는다(Fig. 2). 최근에 중국에서 보고한 아잘레아 파이토플라스마병은 잎이 작아지는 증상을 보이며 황화와 빛자루병 증상을 나타내어(Wei 등, 2011) 다소 상이한 증상을 나타내었다.

우리나라에서 관찰한 나리, 페튜니아, 포인세티아 및 아잘레아는 파이토플라스마 감염에 의하여 줄기 대화증상을 나타낸다. 식물의 대화증상의 원인은 매우 다양한데 방사선 조사 또는 화학물질처리에 의하여 유도될 수 있으며, 병원균, 해충 및 파이토플라스마 감염에 의해서도 일어난다(Klingaman, 2008). 파이토플라스마 감염에 의한 대화증상은 외떡잎식물인 나리뿐만 아니라 쌍떡잎식물인 페튜니

아와 포인세티아에서도 나타난다. 또한 대화증상은 stolbur 그룹에 속하는 나리 Ph-lily, AY 그룹에 속하는 페튜니아 PFS-K 및 X-disease 그룹에 속하는 포인세티아 PoiBI-K에서 동일하게 나타나는 것으로 보아 16S rRNA 유전자의 염기서열 상동성에 기반을 둔 분자계통학적인 분류(Lee 등, 1998)가 병의 특정증상까지 일관성있게 분류할 수 있는 기준이 아닌 것을 알 수 있다. 이 경향은 AY 그룹의 꽃잎색이 녹색으로 변하게 하는 virescence 현상을 제외하고는 병징 종류와 파이토플라스마 분류의 연관성이 일관성있게 일치하지 않았다고 한 보고(Schneider과 Seemüller, 1994)에서도 볼 수 있다.

파이토플라스마병은 황화, 위축증상을 나타낼 경우 양분 결핍 또는 바이러스병에 의한 증상으로 오인되는 경우가 많다. 현재까지 특정유전자 발현에 의하여 AY 파이토플라스마 감염된 식물에서 virescence와 phyllody 증상이 나타난다(He 등, 1998)고 보고한 외에 파이토플라스마병의 전형적인 특징들을 설명하는 이론은 아직 명확히 밝혀지지 않았다(Lee 등, 2000). 그러나 파이토플라스마에 감염된 식물체로부터 나타나는 공통적인 특징은 줄기가 번무하는 증상(빛자루병) 및 생식기관이 불완전하게 발달하는 특징을 보인다.

우리나라 화훼류에 발생한 파이토플라스마병의 분자계통학적 특성. 파이토플라스마의 게놈 크기는 대략 650 kb

부터 1,200 kb 범위로서(Neimark와 Kirkpatrick, 1993) 파이토플라스마의 계통학 및 분류학적 연구에는 16S rRNA 유전자 영역이 매우 유용하게 이용되고 있다(Gundersen 등, 1994; Khadhair 등, 1998; Lee 등, 1998; Lee 등, 1993; Schneider 등, 1993; Seemüller 등, 1994). 왜냐하면 16S rRNA 유전자는 원핵생물에 공통적으로 존재하며 보존된 영역과 변이를 나타내는 영역을 보유하기 때문이다.

국화(GanBank accession no. AY241706, A169308) (Chung 등, 2001; Chung과 Kim, 2005), 나리(AY69309) (Chung과 Jeong, 2003), 페튜니아(EU267779) (Chung과 Huh, 2008), 포인세티아(GU461275) (Chung과 Choi, 2010), 스타티스(DQ192513) (Chung 등, 2005) 및 아잘레아(AB444716)(미 보고)의 16S rRNA 유전자의 염기서열을 NCBI 유전자은행에 등록된 다른 파이토플라스마 분리주들과 비교한 결과, 국화는 AY 그룹에 속하는 onion yellows(AY101386), *Epilobium phyllody*(D12569)와 염기서열 상동성이 높은 AY 그룹 파이토플라스마병이 발생(Chung과 Kim, 2005)한 외에, 나리에서 발생한 stolbur phytoplasma(AF248959)와 99.5%의 염기서열 상동성이 있는 파이토플라스마(Chung과 Jeong, 2003)와도 100% 염기서열 상동성을 나타내는 파이토플라스마도 분리되었다(Chung과 Kim, 2005).

우리나라에서 보고한 나리 파이토플라스마(Lily-ph)는 16S rRNA 유전자의 염기서열 상동성에 기반을 둔 분자생물학적인 분류(Lee 등, 1998)를 기준으로 분석한 결과 stolbur 그룹에 속하는 반면 체코 및 폴란드에서 보고한 파이토플라스마는 16S rRNA의 RFLP 분석을 이용하여 분류한 결과 AY 그룹에 속하는 것으로 분류한 바 있어서 염기서열에 기반을 둔 분석과 RFLP 분석 결과에 다소 차이를 나타낸 것을 볼 수 있다.

페튜니아의 petunia flat stem phytoplasma(PFS-K)는 hydrangea phyllody phytoplasma(AY265215), *Brassica napus* phytoplasma(EU123466) 그리고 AY phytoplasma CHRY(AY180956) 등의 AY 그룹 파이토플라스마(Lee 등,

1998)와 염기서열 상동성이 99.7%로 높았다(Chung과 Huh, 2008). 반면에 중국에서 보고한 페튜니아 파이토플라스마 PFS-C와는 증상은 유사하지만 비교적 낮은 98.7%의 염기서열 상동성을 나타내어 이들이 서로 다른 계통의 파이토플라스마병 감염에 의한 것으로 추정되었다.

포인세티아는 미국에서 보고(Lee 등, 1997)한 peach X-disease 그룹의 poinsettia branch inducing phytoplasma (PoiBI, FJ376625)와 99.6%의 높은 염기서열 상동성이 있었다(Chung과 Choi, 2010).

스타티스의 stasis witches' broom 파이토플라스마는 AY 그룹의 onion yellows phytoplasma(D12569)와 염기서열이 100% 일치하였으며(Chung 등, 2005), 일본과 폴란드에서 스타티스로부터 보고한 파이토플라스마 또한 AY 그룹에 속하는 것으로 보아 스타티스에는 AY 그룹의 파이토플라스마병이 주로 발생하는 것으로 판단되었다.

아잘레아로부터 분리한 파이토플라스마(AB444716)와 스타티스의 stasis witches' broom 파이토플라스마와는 99.9%의 매우 높은 염기서열 상동성을 나타내었다(자료 미제공).

이상의 결과로 보아 우리나라 화훼류에서 발생한 파이토플라스마는 AY, stolbur, X-disease 그룹에 속하는 순으로 많은 기주에서 병을 일으켰다. 이는 AY가 세계적으로도 가장 다양한 계통들이 분포하고 있다고 한 보고(Lee 등, 2000)와도 일치하는 결과이다.

화훼류에서 보고한 7종의 파이토플라스마를 jujube witches' broom 등 우리나라에서 보고한 5종의 수목 파이토플라스마와의 16S rRNA 유전자 영역의 염기서열을 비교한 결과 88.5–99.9%의 상동성을 나타내었다(Table 1). PoiBI-K는 JWB, WJWB, GP와 90.4–93.6%의 상동성, PFS-K는 WJWB를 제외한 MD 등 4종과 90.1–99.2%의 상동성, Ph-ch2와 Ph-lily는 JWB, WJWB를 제외한 MD 등 3종과 95.9–96.3%, Ph-ch1은 WJWB를 제외한 MD 등 4종과 90.1–99.6%의 상동성, SWB은 MD 등 5종 모두와 90.1–99.9%의 상동성을 나타내었으며 AWB은 MD 등 5

Table 1. Sequence similarity percents of the 16S rRNA genes of seven floricultural crop phytoplasma diseases with five tree phytoplasma diseases occurred in Korea^a

	PoiBI-K	PFS-K	Ph-ch2	Ph-lily	Ph-ch1	SWB	AWB
JWB	93.6	90.1	88.8	88.8	90.1	90.4	90.5
PaWB	89.7	98.7	95.9	95.9	99.2	99.5	99.3
WJWB	93.6	89.7	88.5	88.5	89.8	90.1	90.1
MD	87.7	99.2	96.3	96.3	99.6	99.9	99.6
GP	90.4	99.1	96.2	96.2	99.5	99.8	99.4

^aPoiBI-K: poinsettia branch inducing-Korean (GU461275), PFS-K: petunia flat stem-Korean (EU267779), Ph-ch2: chrysanthemum Ph-ch2 (AY169308), Ph-lily: lily Ph-lily (AY169309), Ph-ch1: chrysanthemum Ph-ch1 (AY241706), SWB: stasis witches' broom (DQ192513), AWB: azalea witches' broom (AB444716). JWB: jujube witches' broom (AB052879), PaWB: paulownia witches' broom (AF279271), WJWB: wild jujube witches' broom (AF279272), MD: mulberry dwarf (AY075038), GP: golden rain (EU430729).

종 모두와 90.2–99.6%의 상동성을 나타내었다. 특히 MD는 PoiBI-K를 제외한 6종의 화훼류 파이토플라스마와 96.3–99.9% 가장 높은 상동성을 나타내었다. 이 결과로 우리나라 화훼류에 발생한 파이토플라스마병은 매개충을 통하여 수목으로부터 전염되었을 것으로 추정되었다.

결 론

세계적으로 파이토플라스마에 의한 병은 수백종(McCoy 등, 1989)이 있으며, 이 가운데 우리나라에서는 52종(Lee, 2004)이 보고되었으며 33종은 수목에서 발생하였다. 따라서 파이토플라스마병의 전염원이 자연에 많이 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 파이토플라스마병은 멀구, 매미충과 같은 식물체 체관부 조직을 찢어서 흡즙하는 곤충에 의하여 전염되는 것으로 알려져 있다(Lee 등, 2000). 흡즙하는 동안 체관부에 존재하는 파이토플라스마를 획득하게 된다.

우리나라 화훼류에서 발생한 7종 파이토플라스마병을 수목에서 보고한 파이토플라스마와의 16S rRNA 유전자의 염기서열 상동성을 비교한 결과 종류에 따라서 최고 93.6–99.9% 범위의 매우 높은 상동성을 나타내었다. 또한 *chrysanthemum yellows* 파이토플라스마가 매미충 종류인 *Macrosteles quadripunctulatus*에 의하여 전염된다는 보고(Bosco 등, 1997)와 일본에서 *Macrosteles striifrons*에 의하여 스타티스 파이토플라스마병이 전염된다는 보고(Wakibe와 Guo, 1998)로 보아 우리나라 화훼류에 발생한 파이토플라스마병 또한 매개충을 통하여 수목으로부터 전염되었을 가능성을 생각해 볼 수 있다. 따라서 앞으로 화훼류에 파이토플라스마를 매개하는 매개충에 대한 폭넓은 연구가 필요할 것으로 생각된다. 페튜니아의 경우 이른 봄 온실 내에서 파종에 의하여 재배하는 실생묘에서 파이토플라스마에 감염되어 병을 일으킨 예(Chung과 Huh, 2008)가 있으며, 삼목재배한 국화의 경우 특히 노지재배 시 파이토플라스마병이 대면적으로 발생하는 경우(Chung 등, 2007)가 있는 것으로 보아 매개충에 의한 전염을 추정해 볼 수 있다.

또한 화훼류에서 발생한 파이토플라스마병 종류를 16S rRNA 유전자의 염기서열 상동성에 기반을 둔 분자생물학적인 분류(Lee 등, 1998)를 기준으로 분석한 결과 우리나라 화훼류에서는 AY, stolbur, X-disease 그룹에 속하는 파이토플라스마 병원체 순으로 많은 기주에서 병을 일으켰으며 이는 AY가 세계적으로도 가장 다양한 계통들이 분포하고 있다고 한 보고(Lee 등, 2000)와도 일치하는 결과이다.

요 약

우리나라에서 화훼류에 7종류의 파이토플라스마병이 발생하였다. 국화의 Ph-ch1과 Ph-ch2, 나리의 Ph-lily, 페튜니아의 *petunia flat stem*(PFS-K), 포인세티아의 *poinsettia branch inducing*(PoiBI-K), 스타티스의 *statis witches' broom*(SWB-K)과 아잘레아의 *azalea witches broom*(AWB) 등이다. 16S rRNA 유전자 염기서열을 기본으로 화훼류 파이토플라스마를 분류한 결과 우리나라에는 *aster yellow*(AY), stolbur와 X-disease 순으로 많이 발생하였다. 파이토플라스마의 특징적인 병징 가운데 하나인 대화증상은 단자엽 식물인 나리와 페튜니아, 포인세티아와 같은 쌍자엽식물에서 모두 발생하였다. 또한 대화증상은 stolbur 그룹의 Ph-lily, AY 그룹의 *petunia* PFS-K와 X-disease의 포인세티아 PoiBI-K에서 모두 나타났다. 이 결과는 16S rRNA 유전자 염기서열에 기초를 둔 파이토플라스마 분류와 증상과는 일관성있게 일치하지 않는다는 것을 알 수 있다.

우리나라 화훼류에서 발생한 7종의 파이토플라스마를 대추나무빛자루, 오동나무빛자루, 뿔대추나무빛자루, 뽕나무오갈 및 모감주나무파이토플라스마 등 5종의 수목 파이토플라스마와 16S rRNA 유전자의 염기서열을 비교한 결과 88.5–99.9%의 매우 높은 상동성을 나타내었다. 특히 뽕나무오갈병 파이토플라스마는 PoiBI-K를 제외한 6종의 화훼류 파이토플라스마와 96.3–99.9% 가장 높은 상동성을 나타내었다. 이 결과로 우리나라 화훼류에 발생한 파이토플라스마병은 매개충을 통하여 수목으로부터 전염되었을 것으로 추정되었다.

References

- Ahrens, U. and Seemüller, E. 1992. Detection of DNA of plant pathogenic mycoplasma-like organisms by a polymerase chain reaction that amplifies a sequence of the 16S rRNA gene. *Phytopathology* 82: 828–832.
- Appiano, A., D'Giovanni, G. and Conti, M. 1983. Ultrastructural observations on chrysanthemum plants infected by a mycoplasma-like organism. *Giornale Botanico Italiano* 117: 136–137.
- Bertaccini, A., Davis, R. E., Hammond, R. W., Bibio, M., Bellardi, M. G. and Lee, I. M. 1992. Sensitive detection of mycoplasma-like organisms in field collected and *in vitro* propagated plants of *Brassica*, *Hydrangea* and *Chrysanthemum* by polymerase chain reaction. *Ann. Appl. Biol.* 121: 593–599.
- Bertaccini, A., Davis, R. E. and Lee, I. M. 1990. Distinctions among mycoplasma-like organisms (MLOs) in *Gladiolus*, *Ranunculus*, *Brassica*, and *Hydrangea* through detection with nonradioactive

- cloned DNA probes. *Phytopath. Medit.* 29: 107–113.
- Bosco, D., Minucci, C., Boccardo, G. and Conti, M. 1997. Differential acquisition of chrysanthemum yellows phytoplasma by three leafhopper species. *Entomol. Exp. Appl.* 83: 219–224.
- Chung, B. N. and Choi, G. S. 2010. Occurrence of poinsettia stem flat disease caused by phytoplasma in Korea. *Plant Dis.* 94: 792
- Chung, B. N., Choi, G. S., Kim, H. R. and Choi, Y. M. 2001. Identification of aster yellows phytoplasma in *Dendranthema grandiflorum*. *Plant Pathology J.* 17: 57–61.
- Chung, B. N. and Huh, K. Y. 2008. Occurrence of petunia flattened stem caused by phytoplasma. *Plant Pathology J.* 24: 279–282.
- Chung, B. N., Huh, K. Y. and Jeong, M. I. 2005. First report on the witches' broom in annual statice (*Limonium sinuatum*) in Korea. *Plant Pathology J.* 21: 383–386.
- Chung, B. N. and Jeong, M. I. 2003. Detection and molecular characterization of a Stolbur phytoplasma in *Lilium* oriental hybrids. *Plant Pathology J.* 19: 106–110.
- Chung, B. N. and Kim, B. D. 2005. Two groups of phytoplasma from chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum*) distinguished by symptoms and 16S rRNA gene sequence in Korea. *Plant Pathology J.* 21: 132–136.
- Chung, B. N., Kim, J. S. and Jeong, M. I. 2007. Phytoplasma disease in field grown chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum*). *HEB.* 48: 81–84.
- Conti, M., D'Agostino, G., Casetta, A. and Mela, L. 1988. Some characteristics of chrysanthemum yellows disease. *Acta Hort.* 234: 129–136.
- Doi, Y., Teranaka, M., Yora, K. and Asuyama, H. 1967. Mycoplasma- or PLT-like microorganisms found in the phloem elements of plants infected with mulberry dwarf, potato witches' broom, aster yellows, or paulownia witches' broom. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 33: 259–266.
- Gundersen, D. E. and Lee, I. M. 1996. Ultrasensitive detection of phytoplasmas by nested-PCR assays using two universal primer pairs. *Phytopath. Medit.* 35: 144–151.
- Gundersen, D. E., Lee, I. M., Rehner, S. A., Davis, R. E. and Kingsbury, D. T. 1994. Phylogeny of mycoplasma like organisms (phytoplasmas): a basis for their classification. *J. Bacteriol.* 176: 5244–5254.
- He, F. T., Lee, I. M., Hammond, R. W. and Zhao, Y. 1998. Preliminary investigation of the role of protein kinase gene expression in the induction of phyllody symptoms on plants infected with phytoplasmas. *12th Int. Organ. Mycoplasma. Conf.* p. 184.
- Hiruki, C., Rong, X. D. and Deng, S. J. 1994. Hydrangea virescence, A disease associated with mycoplasma like organisms in Canada. *Acta Hort.* 377: 325–333.
- Hopkins, D. I. 1977. Diseases caused by leafhopper-borne rickettsia like bacteria. *Ann. Rev. Phytopath.* 17: 277–294.
- Kamińska, M. and Korbin, M. 2002. Detection of phytoplasma infection in *Lilium* sp. plants. *Acta Hort.* 568: 227–236.
- Kamińska, M. and Malinowski, T. 1996. Etiology of yellows and witches' broom symptoms in some ornamental plants. *Acta Hort.* 432: 96–106.
- Kamińska, M. and Śliwa, H. 2004. First report of phytoplasma belong to apple proliferation group in roses in Poland. *Plant Dis.* 88: 1283.
- Khadhair, A. H., Kawchuk, L. M., Taillon, R. C. and Botar, G. 1998. Detection and molecular characterization of an aster yellows phytoplasma in parsley. *Can. J. Bot.* 20: 55–61.
- Klingaman, G. 2008. Planting time fasciated plants result of natural mutation. Three Rivers, February, 114.
- Kunkel, L. O. 1926. Incubation period of aster yellows in its insect host. *Phytopathology* 16: 67. (Abstract)
- Lee, I. M., Davis, R. E. and Gundersen-Rindal, D. E. 2000. Phytoplasma: Phytopathogenic mollicutes. *Annu. Rev. Microbiol.* 54: 221–255.
- Lee, I. M., Dawn, E., Gundersen-Rindal, P. E., Robert, E. D. and Irena, M. B. 1998. Revised classification scheme of phytoplasmas based on RFLP analyses of 16S rRNA and ribosomal protein gene sequences. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 48: 1153–1169.
- Lee, J. T. 2004. Phytoplasmal disease in Korea. Junghaeng-Sa. Korea.
- Lee, I. M., Hammond, R. W., Davis, R. E. and Gundersen, D. E. 1993. Universal amplification and analysis of pathogen 16S rDNA for classification and identification of mycoplasma like organisms. *Phytopathology* 83: 834–842.
- Lee, I. M., Klopmeier, M., Bartoszyk, I. M., Gundersen-Rindal, D. E., Chou, T. S., Thomson, K. L. and Eisenreich, R. 1997. Phytoplasma induced free-branching in commercial poinsettia cultivars. *Nature Biotechnol.* 15: 178–182.
- McCoy, R. E., Caudwell, A., Chang, C. J., Chen, T. A., Chiykowski, L. N., Cousin, M. T., Dale, J. L., de Leeuw, G. T. N., Golino, D. A., Hackett, K. J., Kirkpatrick, B. C., Marwitz, R., Petzold, H., Sinha, R. C., Sugiura, M., Whitecomb, R. F., Yang, I. L., Zhu, B. M. and Seemüller, E. 1989. Plant diseases associated with mycoplasma like organisms. In: *The Mycoplasmas*, vol. 5, ed. by R. F. Whitcomb and J. G. Tully, pp. 545–640. Academic Press, New York.
- Neimark, H. and Kirkpatrick, B. C. 1993. Isolation and characterization of full-length chromosomes from non-culturable plant-pathogenic mycoplasma-like organisms. *Mol. Microbiol.* 7: 21–28.
- Okuda, S., Prince, J. P., Davis, R. E., Dally, E. L., Lee, I. M., Mogen, B. and Kato, S. 1997. Two groups of phytoplasmas from Japan distinguished on the basis of amplification and restriction analysis of 16S rDNA. *Plant Dis.* 81: 301–305.
- Schaff, D., Lee, I. M., and Davis, R. E. 1992. Sensitive detection and identification of mycoplasma-like organisms in plants by polymerase chain reactions. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 186: 1503–1509.

- Schneider, B., Ahrens, U., Kirkpatrick, B. C. and Seemüller, E. 1993. Classification of plant pathogenic mycoplasma-like organisms using restriction-site analysis of PCR-amplified 16S rDNA. *J. Gen. Microbiol.* 139: 519–727.
- Schneider, B. and Seemüller, E. 1994. Studies on taxonomic relationships of mycoplasma-like organisms by Southern blot analysis. *J. Phytopathol.* 141: 173–185.
- Seemüller, E., Schneider, B., Mürer, R., Ahrens, U., Daire, X., Kison, H., Lorenz, K. H., Firrao, G., Avinent, L., Sears, B. B. and Stackebrandt, E. 1994. Phylogenetic classification of phytopathogenic Mollicutes by sequence analysis of 16S ribosomal DNA. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 44: 440–446.
- Smookler, M. and Dabush, S. 1974. Mycoplasma like bodies in tulips. *Plant Dis. Rep.* 58: 1142.
- Voráčková, Z. P., Fráová, J., Válová, P., Mertelik, J., Nárail, M. and Nebesáová, J. 1998. Identification of phytoplasma infecting *Lilium martagon* in the Czech Republic. *J. Phytopathol.* 146: 609–612.
- Wakibe, H. and Guo, Y. H. 1998. Occurrence of static witches' broom disease transmitted by *Macrosteles striifrons* in Saga prefecture. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 64: 383–384.
- Wei, W., Cai, H., Jiang, Y., Lee, I. M., Davis, R. E., Ding, Y., Yuan, E., Chen, H. and Zhao, Y. 2011. A new phytoplasma associated with little leaf disease in azalea: multilocus sequence characterization reveals a distinct lineage within the aster yellows phytoplasma group. *Ann. Appl. Biol.* 158: 318–330.