

Bitki Virüs Hastalıklarına Karşı Kullanılan Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rhizobakteriler (PGPR)

Mehmet Ali Şevik¹

Özet

Bitkiler, patojen enfeksiyonlarına karşı kendilerini koruyabilmek için birçok savunma mekanizması geliştirmişlerdir. Buna paralel olarak çeşitli biyolojik uyarıcılar kullanılarak, bitkilerin patojenlere karşı dayanıklı hale gelmesi sağlanabilmektedir. Genellikle toprakta ve bitki kök bölgesinde (rhizosfer) bulunan, bitki gelişimini teşvik eden rhizobakteriler (PGPR), bitki patojenlerinin biyokontrolünde önemli rol oynamaktadırlar. Bu rhizobakteriler, hormon üretiminde artış sağlayarak ve besin alımını düzenleyerek direk bitki gelişimini teşvik etmesi yanında, endirekt olarak ise bitkilerde savunma mekanizmalarını uyararak patojenlere karşı bitkilerin dayanıklı hale gelmesini sağlayabilmektedir. PGPR bitkilere uygulandığı zaman çok sayıda bitki patojeni bakteriyel, fungal ve viral hastalığı baskı altına alabilmektedir. Birçok laboratuvar, sera ve arazi denemeleri, PGPR'ler ile bazı bitki hastalıklarının önemli oranda kontrol edilebileceğini göstermiştir. Bu derlemede, genel olarak PGPR'lerin bitki virüs hastalıkları ile olan ilişkilerini ele alan çalışmalar özetlenmiştir.

Giriş

Günümüzde, çevre kirliliği yoğun ilgi duyulan konuların başında gelmektedir. Tarımsal üretimde yıllardır bitki hastalık ve zararlıların kontrol stratejilerinde yaygın olarak kimyasallar kullanılmıştır. Kullanılan kimyasalların birçok zararı yanında insan sağlığına olumsuz etki ettiği ve çevre kirliliğine yol açtığı bilinmektedir. Bu yüzden günümüzde çevreye zararlı olmayan veya daha az zarar veren kontrol stratejileri geliştirilmeye çalışılmaktadır (1). Bu yaklaşımlardan birisini de biyokontrol stratejileri oluşturmaktadır (2, 3). Son yıllarda bitki hastalıklarının mücadelesinde uyarılmış dayanıklılık konusuna olan ilgi artmıştır (4). Bitkilerde pasif halde bulunan doğal savunma mekanizmaları, çeşitli biyotik ve abiyotik uyarıcılarla aktive edilerek patojen enfeksiyonlarına karşı bitkide dayanıklılık sağlanabilmektedir (5, 6). Bu da uyarılmış sistemik dayanıklılık (induced systemic resistance; ISR) olarak isimlendirilmektedir (7). Agrios (8)'a göre dayanıklılık, bitkinin patojen saldırısına karşı onlarla aynı derecede rekabet ederek hastalık oluşmaması ya da hastalığın ilerlemesinin durması olarak tanımlanmaktadır.

¹ Dr. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Samsun. Yazışmalardan sorumlu yazarın e-posta adresi: malis@omu.edu.tr

Yine, bitkilerde hastalığa dayanıklılık, hastalığa karşı bitkinin savunma mekanizmalarının harekete geçerek bitkinin hastalıktan etkilenmemesi olarak da tanımlanabilmektedir (6). Uyarılmış sistemik dayanıklılık (ISR), patojen olmayan biyotik ajanlar kullanılarak, konukçu bitkinin kendi fizyolojik ve biyokimyasal savunma sistemleri aktive edilerek, patojenik olan etmenlere karşı dayanıklılık sağlama prensibine dayanmaktadır (9, 10). Bitkiler patojen saldırısını etkili bir biçimde durdurabilmek için, yapılarında varolan fiziksel ve kimyasal engeller kadar, patojen saldırısı ile aktive olan, uyarılabilir savunma tepkilerini de kullanırlar (11). Bitki savunmasında, dayanıklılık proteinlerinin (patojen ile bağlantılı proteinler; PR) sentezinin artmasının önemli rolü olduğu bildirilmiştir (6, 12).

Bitkilerde uyarılmış dayanıklılık ile ilgili olarak yayınlanan ilk kaynaklardan birisi Chester (13) tarafından ortaya konmuştur. Araştırmacı kazanılmış fizyolojik bağışıklık "acquired physiological immunity" terimini kullanmıştır. Daha sonra, bitkilerde sistemik dayanıklılığı ifade etmek için çeşitli mekanizmalardan bahsedilmiştir. Ross (14) TMV'nin neden olduğu lokal lezyonlardan sonra sistemik kazanılmış dayanıklılık gösteren tütün bitkilerinden bahsetmiştir. Bitkilerde görülen çeşitli dayanıklılık mekanizmaları için daha sonra, "translocated resistance" (15), plant immunization (7), "induced systemic resistance" (ISR)'(16) terimleri kullanılmıştır (10). Bu sistemde bitkilerde çoklu savunma mekanizması uyarılmakta ve harekete geçmektedir (17). Bitkilere savunma sistemini harekete geçiren ajanlar; patojenler (18), PGPR (19), kimyasallar veya bitki ekstraktları (20) olabilmektedir. Ancak, bu makalede sadece PGPR'nin neden olduğu ISR'den bahsedilmektedir. Bu derlemede, biyolojik (PGPR) etmenler kullanarak çeşitli kültür bitkilerinde bitki virüs hastalıklarına karşı dayanıklılık sağlama yöntemleri ele alınmıştır.

Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rhizobakteriler (Plant Growth Promoting Rhizobacteria: PGPR)

Bitkilerin rhizosfer olarak isimlendirilen kök çevresi bölgesi, besin maddesince oldukça zengindir (21). Bu yüzden bu rizosfer bölgesi oldukça aktif mikrobiyal popülasyona sahiptir (22). Kökte koloni oluşturan bakterilerin (rhizobacter), direkt veya dolaylı olarak bitki gelişimini teşvik etmesinden dolayı bu bakteriler, Bitki gelişimini teşvik eden rhizobakteriler (Plant growth promoting rhizobacteria; PGPR) olarak isimlendirilmektedir (23, 24). PGPR'nin hem direkt olarak hemde endirekt olarak bitki gelişimine olumlu etkisi bulunmaktadır. Direkt olarak etkisi, bitki gelişimi teşvik eder, ayrıca abiyotik faktörlere (tuzluluk, kuraklık, besin noksanlığı veya fazlalığı vs.) karşı bitkinin toleranslığını arttırarak ürün artışı sağlar, dolaylı olarak ise bitkilerde sistemik dayanıklılığı uyararak patojen saldırılarından ve oluşacak ürün kayıplarından bitkileri koruyabilmektedir (25-27). PGPR, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Serratia*, *Rhizobium*, *Enterobacter*, *Burkholderia*, *Beijerinckia*, *Klebsiella*, *Clostridium*, *Xanthomonas* ve *Phyllobacterium* gibi çok farklı cinse ait, köklerde koloni oluşturan bakteri ırklarını içermektedir. Ancak bunlar arasında en yaygın PGPR ırkı olarak *Pseudomonas* ve *Bacillus* türleri rapor edilmiştir (28, 29). Bu PGPR ırkları genellikle rizosferde kolonize olmaktadır (26, 30, 31). Sera ve laboratuvar denemeleri, rizosfer bölgesine faydalı bakteriler verildiği zaman bitkilerde gelişmenin (bitki boyu, gövde çapı, dal sayısı, bitki yaş ağırlığı ve kuru ağırlığı, kök boyu ve verim) (32) değişen oranlarda arttığını göstermiştir (31).

PGPR ırklarının neden olduğu ISR, hem sera hemde tarla koşullarında çok geniş konukçu çevresine sahip bitki patojenlerine karşı dayanıklılık sağlayabilmektedir (4, 24, 26, 33, 34-39). Yapılan birçok çalışmada, tütün, domates, hıyar, fasulye, karanfil, turp ve *Arabidopsis* spp., gibi birçok bitki türünde, fungus bakteri ve virüsleri içeren bitki patojenlerine karşı PGPR ile ilişkili ISR gözlenmiştir (10, 37, 40-42). PGPR, birçok bitkide fungal (43-46.), bakteriyel (47, 32) ve viral (36, 39, 43, 48-51) hastalığa karşı uyarılmış dayanıklılık sağlamaktadır. Özellikle, PGPR ırkları birçok toprak kaynaklı patojenin kontrolünde kullanılmıştır (43, 52-56).

Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rhizobakterilerin (PGPR) Virüslere Karşı Kullanımı

Özellikle bitki gelişimini uyanan kök bakterilerinin (PGPR) bazı ırkları kullanılarak, bazı bitkilerde bazı virüs hastalıklarına karşı sistemik uyarılmış dayanıklılık (ISR) sağlanabilmektedir (Çizelge 1).

PGPR'ler bitki virüs hastalıklarından yoğun olarak, *Cucumber mosaic virus* (CMV)'nin yol açtığı sistemik enfeksiyonlara karşı domates ve hıyar bitkilerinde uygulanmış ve sera ve arazi şartlarında PGPR'lerin birçok bitkide CMV'ye karşı sistemik dayanıklılık sağladığı birçok çalışma ile belirlenmiştir (36, 48, 53, 57). Kültür bitkilerinde, PGPR olarak çok sayıda bakteri cinsi rapor edilmesine (28, 29) rağmen, genellikle bitki virüs hastalıklarına karşı ISR sağlayan PGPR ırkları 3 farklı bakteri cinsi (*Pseudomonas*, *Bacillus* ve *Serratia*) içerisinde yer almaktadır.

***Pseudomonas* spp.**

Bitki virüs hastalıklarına karşı biyokontrol ajanı olarak genellikle yoğun bir şekilde PGPR olarak *Pseudomonas fluorescens* ırkları kullanılmıştır. Bu ırkların virüslere karşı başarılı bir şekilde dayanıklılık sağlayabileceği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (12, 34, 39, 60-63, 66-68, 71).

PGPR ajanı olarak tütünde kök kolonisi *P. fluorescens* CHAO ırkı *Tobacco necrosis virus* (TNV)'a karşı kullanıldığı zaman, *P. fluorescens* CHAO uygulanan bitkilerde TNV den kaynaklanan lezyon sayısında azalma ve sistemik dayanıklılık sağlanmıştır (12). Aynı şekilde *P. fluorescens* P3 ırkı da tütünde TNV'ye karşı sistemik koruma sağlayabilmiştir. Uyarılmış dayanıklılık mekanizması salisilik asit (SA) ve patojenle ilişkili protein (PR) genlerinin sistemik olarak birikmesi ile ilgili olduğu belirtilmiştir (50). Raupach ve ark. (34), PGPR ırkları *P. fluorescens* 89B-27 ve *Serratia marcescens* 90-166'nın hıyar bitkilerinde CMV enfeksiyonuna karşı koruma kapasitelerini incelemişler ve çalışma sonunda PGPR'lerin CMV simptomunu azalttığını belirlemişlerdir. PGPR uygulanan bitkilerde ELISA testi ile CMV saptanmazken, PGPR uygulanmayan kontrol bitkilerinde ise CMV tespit edilmiştir. Yine, tütün bitkilerinde *P. aerruginosa* 7NSK2, *Tobacco mosaic virus* (TMV)'ye (63), *P. chlororaphis* O6 CMV'ye (39) karşı dayanıklılığa neden olmaktadır. Resca ve ark. (67), şeker pancarı bitkilerinde *Rhizomania* hastalığına karşı bir biyokontrol ajanı (BCA) olarak bir PGPR bakterisi olan *P. fluorescens* F113 Rif ırkını kullanmışlardır. Bu ırkın ürettiği 2,4 Diacetylphloroglucinol (Phl) antimikrobial metabolit *Beet necrotic yellow vein virus* (BNYVV)'nün vektörü olan *Polymixa betae* fungusunun aktivitesini ve gelişmesini azaltmış, dolayısı ile virüsün taşınması da engellenmiştir.

Bu şekilde bu etmenle doğal olarak bulaşık olan topraklar için, BCA olarak kullanmak amacı ile preparasyonlar hazırlanarak uygulanabileceği belirtilmiştir.

Çizelge 1. Tarımsal ürünlerde bazı viral etmenlerin biyokontrolünde kullanılan bazı PGPR türleri

Viral etmen	Biyokontrol ajanı	Konukçu bitki	Kaynak
<i>Cucumber mosaic virus (CMV)</i>	<i>Bacillus subtilis</i> 937b	Hıyar	58
	<i>B. pumilus</i> SE 34	Hıyar	51
	<i>B. pumilus</i> INR7	Hıyar	59
	<i>B. amyloliquefaciens</i> IN937a	Hıyar	58
	<i>Serratia marcescens</i> 90-166	Hıyar	34
	<i>B. amyloliquefaciens</i> 937a	Domates	36
	<i>B. subtilis</i> IN937b	Domates	36
	<i>B. subtilis</i> GB03	Domates	38
	<i>B. pumilus</i> SE 34	Domates	36
	<i>B. pumilus</i> INR7	Domates	38
	<i>B. pumilus</i> T4	Domates	38
	<i>Pseudomonas chlororaphis</i> O6	Tütün	39
	<i>P. fluorescens</i> 89B-27	Kırmızıbiber	60
	<i>B. subtilis</i> 937b	Kırmızıbiber	60
	<i>S. marcescens</i> 90-166	Arabidopsis	51
	<i>B. pumilus</i> SE34	Arabidopsis	51
<i>Tomato mottle virus (ToMoV)</i>	<i>B. amyloliquefaciens</i> IN937a	Domates	37
	<i>B. subtilis</i> 937b	Domates	37
	<i>B. pumilus</i> SE 34	Domates	37
<i>Tomato spotted wilt virus (TSWV)</i>	<i>P. fluorescens</i> CHAO	Domates	61
<i>Tobacco necrosis virus (TNV)</i>	<i>P. fluorescens</i> CHAO	Tütün	12
<i>Tobacco mosaic virus (TMV)</i>	<i>P. aerruginosa</i> 7NSK 2	Tütün	63
	<i>B. uniflagellatus</i>	Tütün	64
<i>Pepper mild mottle virus (PMMoV)</i>	<i>B. amyloliquefaciens</i>	Tütün	65
<i>Banana bunchy top virus (BBTV)</i>	<i>P. fluorescens</i> CHAO ve Pf 1	Muz	66
<i>Beet necrotic yellow vein virus (BNYVV)</i>	<i>P. fluorescens</i> F113	Ş. pancar	67
<i>Urdbean leaf crinkle virus (ULCV)</i>	<i>P. fluorescens</i> viz Pf1, CHAO	Siyah börülce	68
Groundnut bud necrosis virus	<i>P. fluorescens</i>	Yer fıstığı	69
<i>Sunflower necrosis virus (SNV)</i>	<i>Pseudomonas</i> sp.	Ayçiçeği	70
	<i>Bacillus</i> spp.	Ayçiçeği	70
<i>Bean common mosaic virus (BCMV)</i>	<i>B. subtilis</i> GBO3	Börülce	1
	<i>B. pumilus</i> T4	Börülce	1

PGPR'nin neden olduğu ISR'yi teşvik eden birçok konukçu bitki savunma mekanizmasından bahsedilmektedir. Birçok çalışma, PGPR uygulamasının konukçu savunmasıyla ilişkili olarak birçok biyokimyasal bileşiğin üretiminde artış gösterdiğini ortaya koymuştur (12). Bitkilere PGPR ırklarının uygulanmasından sonra, fenolik bileşik birikiminde (57), PR proteinleri (12, 41) ve peroxidase (PO) (57, 61, 71) aktivitesinde, mRNA'ları kodlayan phenylalanine ammonia-lyase (PAL) (61, 71) ve lignifikasyon seviyesinde (57) artış olduğu rapor edilmiştir. PGPR uygulanan bitkilerde bahsedilen bu maddelerin aktivitelerindeki artışların, patojenlere karşı bitkileri korumada ve hastalıkları baskı altına almada direkt veya dolaylı olarak etkili olduğu düşünülmektedir. Örneğin, *P. fluorescens* viz., Pf1 ve CHAO ırklarının toprak ve yaprak uygulaması siyah börülcede (*Vigna mungo*), *Urdbean leaf crinkle virus* (ULCV) enfeksiyonunu azaltmada etkili bulunmuştur. *P. fluorescens* (Pf1) uygulaması, fenolik bileşiklerin birikmesine ve peroxidase, phenylalanine ammonia lyase and polyphenol oxidase gibi bazı enzimlerin aktivitesinin artmasına neden olmuş ve hastalığın azalmasında uyarılmış savunma mekanizmasının önemli rolü olduğu vurgulanmıştır (68). Başka bir çalışmada, bazı *P. fluorescens* ırklarının tek başına veya kombine olarak *Tomato spotted wilt virus* (TSWV)'ye karşı biyokontrol ajanı olarak kullanılabilir durumu araştırılmıştır. Hem sera hemde açık alanda domates bitkilerinde *P. fluorescens* (CHAO) tek başına veya CoP-1 ve CoT-1 ile kombine biçimde uygulandığı zaman TSWV yoğunluğunu azaltırken aynı zamanda ürün artışı sağlamıştır (62). *P. fluorescens* ırkının tohum, fide daldırma, toprak ve yaprak uygulamasında, uygulama yapılan bitkilerde, peroxidase (PO) ve phenylalanine ammonia-lyase (PAL) aktivitesinde ve fenolik bileşik ve lignin birikiminde artış gözlenirken, TSWV yoğunluğunda ise azalma tespit edilmiştir (61).

Bacillus spp.

Bacillus cinsi PGPR ırkları ile yapılan çalışmalarda, *Bacillus amyloliquefaciens* 937a, *B. subtilis* 937b ve *B. pumilus* SE34 gibi birçok PGPR ırkını içeren spor formülasyonları karışımı arazi şartlarında domates bitkilerine uygulanmış, uygulama yapılan tüm bitkilerde 40 gün boyunca *Tomato mottle virus* (ToMoV) DNA'sının varlığı araştırılmıştır. Araştırma sonucunda PGPR'lerin domateslerde sistemik dayanıklılık sağlayarak, ToMoV yoğunluğunu ve hastalık şiddetini azaltarak verimde artış sağladığı gözlemlenmiştir (37). Aynı şekilde bitkilerde CMV ve ToMV'ye karşı ISR için 6 yıl boyunca (*B. amyloliquefaciens* 937a, *B. subtilis* 937b ve *B. pumilus* SE34) PGPR ırkları sera ve arazi denemeleri ile incelenmiştir. Sonuçlar yıldan yıla değişmekle birlikte, PGPR uygulanan domateslerde hastalık belirtilerinin oluşumunda ve viral enfeksiyon yoğunluğunda bir azalma ve domates ürünlerinde de bir artış gözlenmiştir (53). Yine PGPR ırkları *B. pumilus* INR7, *B. subtilis* GB03 ve *Curtobacterium flaccumfaciens* ME1 hıyarlarda enfeksiyon yapan birçok patojene karşı biyokontrol amacı ile uygulanmıştır. *B. pumilus* INR7 ırkı hıyarda CMV'ye (59), *B. uniflagellatus* kültüründen ekstraktlar ise toprağa tütün köklerine uygulandığı zaman TMV'ye karşı sistemik dayanıklılık sağlamıştır (64). Diğer çalışmada ise, börülcede, *Bean common mosaic virus* (BCMV) cowpea mosaic ırkına karşı 7 PGPR ırkı (*B. pumilus* INR7, *B. pumilus* T4, *B. amyloliquefaciens* IN937a, *B. subtilis* IN937b, *B. subtilis* SE34, *B. subtilis* GB03 ve *Brevibacillus brevis* IPC11) araştırılmıştır. Özellikle, GB03 ve T4 ırklarının tohum çimlenmesini ve fide gelişimini arttırdığı gözlenmiştir. Hem arazi hemde sera koşullarında kontrole oranla, PGPR'ler BCMV yoğunluğunda bir azalma sağlamıştır. *B. pumilus* (T4) and *B. subtilis* (GB03) uygulanan börülce tohumları sera koşullarında BCMV'ye karşı %42, arazi koşullarında ise GB03 ırkı BCMV'ye karşı %34 oranında koruma sağlamıştır.

Çalışma sonunda özellikle *B. subtilis* (GBO3) uygulanmış tohumların, arazi koşullarında patojenlere karşı uyarılmış dayanıklılık gösterebileceği vurgulanmıştır (1).

Serratia spp.

PGPR ırkları *Serratia marcescens* 90-166 ve *B. pumilus* SE34 uygulanan *Arabidopsis thaliana* bitkilerinde CMV'nin enfeksiyon oranının azaldığı belirlenmiştir. Özellikle burada 90-166 ırkı tarafından oluşturulan dayanıklılığın SA ile bağlantılı olduğu belirtilmiştir (51). Aynı şekilde bu ırkın (*S. marcescens* 90-166) hıyar bitkisinde CMV'ye karşı dayanıklılık sağladığı daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir (34)

Biyopreparasyonlar

Son yıllarda PGPR'lere ait spor formülasyonları içeren biyolojik preparasyonlar ticari olarak geliştirilmektedir (36). PGPR içeren preparatlar insektisit ve actigard ile birlikte kombine edilerek uygulandığı zaman virüs hastalıklarının yoğunluğunu azaltırken aynı zamanda bitki gelişimini ve meyve oluşumunu arttırabilmektedir. Kabakgil bitkilerinde insektisit Admire (İmidacloprid), Actigard ve PGPR (Bio Yield 213) kullanılarak CMV, *Watermelon mosaic virus 2* (WMW-2), *Papaya ringspot virus 1* (PRSV-W), *Zucchini yellow mosaic virus* (ZYMV) ve *Squash mosaic virus* (SqMV)'a karşı koruma sağlanabilmiştir (72).

Yapılan başka bir çalışmada, CMV'ye karşı ISR ve bitki gelişimi teşvik amacıyla LS213, formülasyon olarak farklı ırkların karışımı denenmiştir. Laboratuvarda yapılan çalışmalarda domates ve hıyar tohumlarına PGPR ırkları tek tek uygulandığı zaman arazide CMV'ye karşı ISR uyarılmış sistemik dayanıklılık meydana getirmiştir. Ayrıca genç bitkiler virüslere daha hassas olduğu için bu preparasyonlar bitkilerin genç dönemde hastalıklara karşı daha dayanıklı hale gelmesini sağlayabilmektedir. Bu çalışmada karışım preparasyon hazırlanmış ve toprağa uygulanmıştır. Çalışma sonunda *B. subtilis* GB03, *B. amyloliquefaciens* IN937a ırkları sporlarından oluşan ve LS213 olarak isimlendirilen biyolojik preparasyon başarılı sonuç vermiştir. Domates bitkilerinde CMV'ye karşı PGPR preparasyonlarının kullanılması fidelerin daha sağlıklı gelişmesini sağlamıştır (54).

Bazen çoklu dayanıklılık sağlamada birden fazla PGPR ırkının kullanılması daha etkili sonuç verebilmektedir. Örneğin, Murphy ve ark., (38), (*B. subtilis* GB03), (*B. pumilus* SE34), (*B. amyloliquefaciens* IN937a), (*B. subtilis* IN937b), (*B. pumilus* INR7) ve (*B. pumilus* T4) PGPR ırkları içeren kombinasyon chitosan ile formüle edilerek biyopreparasyonlar hazırlamışlardır. Hazırlanan bu biyopreparasyonun domates bitkilerinde bitki gelişimini arttırması yanında, CMV enfeksiyonuna karşı domates bitkilerinde dayanıklılık sağlamıştır. Diğer bir çalışmada sera denemelerinde birçok konukçu bitkide birçok patojene karşı birden fazla PGPR ırk karışımının (*B. amyloliquefaciens* IN937a, *B. subtilis* IN937b, *B. pumilus* SE 34, *B. Pumilus* T4, *B. pumilus* INR7) ISR'ye neden olarak ve kontrole göre ürün artışı sağladığı belirlenmiştir. Bu çalışma PGPR ırkları içeren karışımın, tek tek uygulamaya göre birden çok patojene karşı geniş spektrumlu koruma sağladığını göstermiştir (57).

Yine benzer olarak, *P. fluorescens* ırklarının karışım olarak uygulandığı zaman bireysel olarak tek tek uygulanmasına oranla, buğdayda daha fazla ürün artışı sağladığı belirlenmiştir.

Başka bir araştırmada ise, sera denemelerinde, ayçiçeğine 6 farklı biyokontrol ajanı (BCA) (2 farklı *Bacillus*, 1 *Pseudomonas*., 2 farklı *Streptomyces* ve 1 fungus türü *Trichothecium roseum*) tohum ve yaprağa uygulandığında *Sunflower necrosis virus* (SNV) kontrolünde başarı gösterdiği rapor edilmiştir. Bunun yanında tohum çimlenmesi, fide gelişimi ve diğer büyüme parametrelerinin artışı gözlenmiştir (70). Diğer bir çalışmada da, *P. fluorescens* CHA0 ırkından hazırlanan biyoförmülasyon sera ve arazi şartlarında muz bitkilerine uygulandığında *Banana bunchy top virus* (BBTV) yoğunluğunu azaltmada etkili bulunmuştur (71)

PGPR, bitki köklerinde bitki gelişimini teşvik etmesi ve birçok patojene karşı bağışıklık sağlaması yanında bitkilerin tuzluluk, kuraklık ve besin noksanlığı ve fazlalığı gibi abiyotik stres faktörlerine (73) ve ağır metallere (56, 74) karşı bitkilerin daha toleranslı hale gelmesini sağlamaktadır.

Sonuç

Dünyada bitki virüs hastalıklarından dolayı tarımsal ürünlerde her yıl büyük kayıplar meydana gelmektedir. Bu açıdan virüs hastalıklarından kaynaklanan verim kayıplarını önlemek veya en aza indirmek için mücadele yapılması zorunlu hale gelmektedir. Günümüzde bitki hastalık ve zararlılara karşı geleneksel mücadele metodlarına alternatif olarak, çevreye zarar vermeyen, çevreyi de koruyucu metotlar geliştirilmeye çalışılmıştır. Son yıllarda, PGPR gibi, bitki gelişimini teşvik eden biyokontrol etmenleri bitki hastalıklarının kontrolünde kullanılmasına yönelik çalışmalar yoğunluk kazanmış ve araştırmacılar bu konulara yönelmiştir. PGPR gibi uyarıcılar verilerek bitkilerin kendi savunma mekanizmaları harekete geçirilmekte ve çok sayıda patojene karşı uyarılmış sistemik dayanıklılık (ISR) sağlanabilmektedir. Yapılan birçok çalışma, (PGPR) ırklarının virüs hastalıklarının kontrol amacıyla çok sayıda üründe uygulanabildiğini göstermiştir. Özellikle *Pseudomonas*, *Bacillus* ve *Serratia* cinslerine ait çok sayıda PGPR ırkı, başta domates, hıyar olmak üzere daha birçok üründe hem sera hem de arazi şartlarında birçok virüs hastalığına karşı sistemik dayanıklılık sağlayabilmektedir. Bazen PGPR ırkları tek tek yerine birden fazla ırkı karışımı uygulandığında daha başarılı sonuç verdiği gözlenmiş ve bu ırkların karışımını içeren biyopreparasyonlar hazırlanmış ve sera ve tarla koşullarında bitkilere uygulandığında başarılı neticeler alınmıştır.

Sonuç olarak, günümüzde bazı PGPR ırkları çeşitli tarımsal ürünlerde bazı viral etmenlere karşı başarılı bir şekilde kullanılabilir. Bu preparasyonlar tarımsal ürünlere uygulandığı zaman bitki virüs hastalıklarına karşı bitkilerde dayanıklılığı, dolayısıyla ürün artışı sağlayabilmektedir. Bu şekilde biyokontrol yöntemi, insan ve çevre sağlığı yönünden, çevreye zarar vermeyen uygulanabilir bir hastalık mücadele yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm bunlar ışığında, PGPR ırklarının kullanımı, entegre bitki hastalık mücadelesinde (IPM) yer alması gereken bir yaklaşım olarak düşünülebilir.

Kaynaklar

1. Shankar, A.C.U., Nayaka S.C., Niranjana-Raj S., Kumar H.B., Reddy M.S., Niranjana S.R. and Prakasha H.S., 2009. Rhizobacteria-mediated resistance against the blackeye cowpeamosaic strain of bean common mosaic virus in cowpea (*Vigna unguiculata*) . Pest Manag Sci. 1791-96.
2. Saravanakumar, D., Charles V. N., and Kumarb, R. 2007a. PGPR-induced defense responses in the tea plant against blister blight disease. Crop Protection, 26: 556-565.
3. Saravanakumar, D., Harish S., Loganathan M., Vivekananthan R., Rajendran L., Rauguchander T., and Samiyappan R., 2007b. Rhizobacterial bioformulation for the effective management of *Macrophomina* root rot in mungbean. Archives of Phytopathology and Plant Protection; 40(5): 323-337.
4. Walters D.R., 2009. Are plants in the field already induced? Implications for practical disease control. Crop Protection, 28: 459-465.
5. Baker, B., Zambryski, P., Staskaawicz, B., and Dineshkumar, S.P., 1997. Signaling in plant-microbe interaction. Science, 276: 726-733.
6. Van Loon, L.C. 1997. Induced resistance in plants and the role of pathogenesis-related proteins. European Journal of Plant Pathology, 103: 753-765.
7. Tuzun, S., and Kuc, J., 1991. Plant immunization: an alternative to pesticides for control of plant diseases in greenhouse and field. In: Bay-Peterson, J. (Ed.), The Biological Control of Plant Diseases. Food and Fertilizer Technology Centre, Taiwan, pp. 30-40.
8. Agrios G.N., 1988. Plant Pathology, 3rd Ed. Academic Press Inc., San Diego USA.
9. Kloepper, J. W., and Tuzun, S. 1996. Induced systemic to diseases and increased plant growth by growth-promoting rhizobacteria under field conditions. Phytopathology, 81: 1508-1516.
10. Van Loon, L.C., Bakker, P.A.H.M., and Pieterse, C.M.J., 1998. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. Annu. Rev. Phytopathol. 36: 453-483.
11. Yıldız Aktaş, L., ve Güven A., 2005. Bitki Savunma Sistemlerinde Hormonal Sinyal Moleküller ve Çapraz-İletişimleri. Çankaya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Dergisi, 3: 1-13.
12. Maurhofer, M., Hase, C., Meuwly, P., Metraux, J.P., and Defago, G. 1994. Induction of systemic resistance of tobacco to tobacco necrosis virus by the root-colonizing *Pseudomonas fluorescens* strain CHA0: Influence of the *gacA* gene and of pyoverdine production. Phytopathology, 84: 139-146.
13. Chester, K., 1933. The problem of acquired physiological immunity in plants. Quarterly Rev. Biol. 8,129-154, 275-324.
14. Ross, A.F., 1961. Systemic acquired resistance induced by localized virus infections in plants. Virology 14: 340-358.
15. Hubert, JJ. and Helton A.W. 1967. A translocated-resistance phenomenon in *Prunus domestica* induced by initial infection with *Cytospora cincta*. Phytopathology, 57: 1094-1098.

16. Hammerschmidt R, Nuckles E.M. and Kuc J., 1982. Association of enhanced peroxidase activity with induced systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum lagenarium*. *Physiology and Molecular Plant Pathology*, 20: 73–82.
17. Dean, R.A., and Kuc, J., 1985. Induced systemic protection in plants. *Trends Biotechnol.* 3: 125–129.
18. Hammerschmidt, R., 1999. Induced disease resistance: how do induced plants stop pathogens? *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 55: 77–84.
19. Vivekananthan, R., Ravi, M., Ramanathan, A., and Samiyappan, R., 2004. Lytic enzymes induced by *Pseudomonas fluorescens* and other biocontrol organisms mediate defence against the anthracnose pathogen in mango. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 20: 235–244.
20. Singh, U.P., Ram, D., and Tewari, V.P., 1990. Induction of resistance in chickpea (*Cicer arietinum*) by *Aegle marmelos* leaves against *Sclerotinia sclerotiorum*. *J. Plant Dis. Prot.* 97: 439–443.
21. Lynch, J. M., and Whipps, J.M. 1991. Substrate flow in the rhizosphere. Pages 15-24 in: *The rhizosphere and plant growth*. D. L. Keister and B. Cregan, eds. Beltsville Sympos. in Agric. Res. 14. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
22. Cook, R. J. 2002. Advances in plant health management in the twentieth century. *Ann. Rev. Phytopathol.* 38: 95-116.
23. Kloepper, J. W., and Schroth, M.N. 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. Pages 879-882 in: *Proc. of the 4th Internat. Conf. on Plant Pathogenic Bacter.* Vol. 2, Station de Pathologie Vegetale et Phytobacteriologie, INRA, Angers, France.
24. Nelson, L. M. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Prospects for new inoculants. Online. *Crop Management* doi:10.1094/ CM-2004-0301-05-RV.
25. Glick, B. R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can. J. Microbiol.* 41: 109-117.
26. Kloepper, J.W. Ryu, C.M., and Zhang S., 2004. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* species. *Phytopathology* 94, 1259–1266.
27. Siddiqui, Z.A., 2005. PGPR: Prospective Biocontrol Agents of Plant Pathogens. Z. A. Siddiqui (ed.), *PGPR: Biocontrol and Biofertilization*, 111–142.
28. Adesemoyel, A.O., Obini, M. and Ugoji E.O., 2008. Comparison of plant growth-promotion with *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* in three vegetables. *Brazilian Journal of Microbiology*, 39: 423-426.
29. Podile, A.R., and Kishore, K.G. 2007. Plant growth- prompting rhizobacteria. *In Plant-associated bacteria. Edited by S.S. Gnanamanickam*. Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 195–230.
30. Krishnamurthy, K., and Gnanamanickam, S.S., 1998. Biological control of rice blast by *Pseudomonas fluorescens* strains Pf7-14: evaluation of a marker gene and formulations. *Biol. Cont.* 13, 158–165.
31. Adesemoyel A.O., and Ugoji, E.O. 2009. Evaluating *Pseudomonas aeruginosa* as plant growth-promoting rhizobacteria in West Africa, *Archives of Phytopathology and Plant Protection.*; 42(2): 188-200.

32. Çetinkaya Yıldız, R. 2007. Domates Bakteriyel Solgunluk Hastalığı Etmeni [*Clavibacter Michiganensis* Subsp. *Michiganensis*]'nin Tanılanması Ve Bitki Büyüme Düzenleyici Rizobakteriler İle Biyolojik Mücadele Olanaklarının Araştırılması Çukurova Üniv. Fen Bil. Enst. Bitki Koruma Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana, s: 173.
33. Kloepper, J.W. 1993. Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents. Pages 255-274 in: Soil Microbial Ecology: Applications in Agricultural and Environmental Management. F.B. Metting, Jr.ed. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
34. Raupach, G.S., Liu, L. , Murphy, J.F., Tuzun, S., and Kloepper, J.W., 1996. Induced systemic resistance in cucumber and tomato against cucumber mosaic cucumovirus using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Plant Disease, 80: 891-894.
35. Wei, G., Kloepper, J. W., and Tuzun, S. 1996. Induction of systemic resistance to cucumber disease and increased plant growth by plant growth-promoting rhizobacteria under field conditions. Phytopathology 86: 221-224.
36. Zehnder, G. W., Yao, C., Murphy, J. F., Sikora, E. R., and Kloepper, J. W. 2000. Induction of resistance in tomato against cucumber mosaic cucumovirus by plant growthpromoting rhizobacteria. BioControl, 45: 127-137.
37. Murphy, J.F., Zehnder, G.W., Schuster D.J., Sikora, E.J., Polston J.E., and Kloepper, J.W., 2000. Plant growth-promoting rhizobacterial mediated protection in tomato against Tomato mottle virus. Plant Disease, 84: 779-784.
38. Murphy, J.F., Reddy, M.S., Ryu, C.-M., Kloepper, J.W., and Li, R. 2003. Rhizobacteria-mediated growth promotion of tomato leads to protection against *Cucumber mosaic virus*. Phytopathology 93: 1301-1307.
39. Ryu, C.M., Kang, B.R., Han S.H., Cho S.M., Kloepper J.W., Anderson A.J. and Kim, Y.C., 2007. Tobacco cultivars vary in induction of systemic resistance against Cucumber mosaic virus and growth promotion by *Pseudomonas chlororaphis* O6 and its *gacS* mutant. Eur J. Plant Pathol., 119: 383–390.
40. Sticher, L., Mauch-Mani, B., and Mettraux, J. P. 1997. Systemic acquired resistance. Annu. Rev. Phytopathol. 35: 235-270.
41. Ramamoorthy V, Viswanathan R, Raghuchander T, Prakasam V and Samiyappan R, 2001. Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. Crop Prot., 20:1-11.
42. Pieterse C.M.J., Johan, V.P.A., Bas, V.W.M., Jurriaan, T., Saskia, V.W.C.M. Leon-Kloosterziel, K.M., and Van Loon, L.C., 2003. Induced systemic resistance by plant growth-promoting rhizobacteria. Symbiosis, 35: 39-54.
43. Zhang, S., Reddy, M. S., Ryu, C. M., and Kloepper, J. W. 1999. Relationship between *in vitro* and *in vivo* testing of PGPR for induced systemic resistance against tobacco blue mold. (Abstr.) Phytopathology 89: 89.
44. Zhang, S., Lawrence C.B., W.T. Bass, Reddy M.S., and Kloepper J.W., 2000. Induced systemic resistance by rhizobacteria against tobacco blue mold disease is salicylic acid independent and not associated with activation of defense-associated genes, Eur. J. Plant Pathol., 107: 15–20.

45. Yan, Z., Reddy, M.S., Ryu, C.-M., McInroy, J.A., Wilson, M., and Kloepper, J.W. 2002. Induced systemic protection against tomato late blight elicited by plant growth-promoting rhizobacteria. *Phytopathology*, 92: 1329-1333.
46. Paul D., and Sarma, Y. R., 2006. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)-mediated root proliferation in black pepper (*Piper nigrum* L.) as evidenced through GS Root software. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 39(4): 311-314.
47. Girish, N., and Umesha, S. 2005. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on bacterial canker of tomato. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 38(3): 235-243.
48. Liu, L., Kloepper, J.W., and Tuzun, S. 1992. Induction of systemic resistance against cucumber mosaic virus by seed inoculation with select rhizobacteria strains. *Phytopathology*, 82: 108-1109
49. Liu, L., Kloepper, J. W., and Tuzun, S. 1995. Induction of systemic resistance in cucumber by plant growth-promoting rhizobacteria: Duration of protection and effect of host resistance on protection and root colonization. *Phytopathology* 85: 1064-1068.
50. Maurhofer, M., Reimann, C., Schmidli-Sacherer, P., Heeb, S., Haas, D. and Defago, G., 1998. Salicylic acid biosynthetic genes expressed in *Pseudomonas fluorescens* strain P3 improve the induction of systemic resistance in tobacco against tobacco necrosis virus. *Phytopathology*, 88: 678–684.
51. Ryu C.M., Murphy, J.F., Mysore K.S., and Kloepper, J.W., 2004. Plant growth-promoting rhizobacteria systemically protect *Arabidopsis thaliana* against Cucumber mosaic virus by a salicylic acid and NPR1-independent and jasmonic acid-dependent signaling pathway. *The Plant Journal* 39: 381–392.
52. O’Sullivan DJ, and O’Gara F., 1992. Traits of fluorescent *Pseudomonas* spp. involves in suppression of plant root pathogens. *Microbiol Rev*, 56: 662 – 676.
53. Zehnder, G.W., Murphy J.F., Sikora E.J., and Kloepper J.W., 2001. Application of rhizobacteria for induced resistance. *European Journal of Plant Pathology*, 107: 39-50.
54. Ryu, C.M. Reddy, M.S., Zhang S., Murphy, J.F. and Kloepper, J.W. 2000. Plant growth promotion of tomato by biological preparation (LS213) and evaluation for protection against cucumber mosaic virus. <http://www.ag.auburn.edu/~mreddy/>.
55. Aksoy H.M., 2006. Toprak Kökenli Fungal Patojenlerin Floresan Pseudomonadlarla Biyolojik Mücadelesi. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 21(3): 364-369.
56. Zhuang, X., Chien J., Hojae S., and Bai Z., 2007. New advances in plant growth-promoting rhizobacteria for bioremediation. *Environ. Int.*, 33: 406–413.
57. Jetiyanon K., Fowler W. D. and Kloepper J.W., 2003. Broad-spectrum protection against several pathogens by PGPR mixtures under field conditions in Thailand. *Plant Disease*, 87(11): 1390-1394.
58. Ryu, C.M., Reddy, M.S., Zhang, S., Murphy, J.F., and Kloepper, J.W. 1999. Plant growth promotion of tomato by a biological preparation (LS213) and evaluation for protection against cucumber mosaic virus. *Phytopathology*, 89:S67.
59. Raupach, G.S., and Kloepper, J.W., 1998. Mixtures of plant growth-promoting rhizobacteria enhance biological control of multiple cucumber pathogens. *Phytopathology*, 88: 1158-1164.

60. Bharathi, R., Vivekananthan, R., Harish, S., Ramanathan, A., and Samiyappan, R., 2004. Rhizobacteria-based bio-formulations for the management of fruit rot infection in chillies. *Crop Prot.* 23, 835–843.
61. Kandan A, Commare R.R, Nandakumar R, Ramiah M, Raguchander T, and Samiyappan R. 2002. Induction of phenylpropanoid metabolism by *Pseudomonas fluorescens* against tomato spotted wilt virus in tomato. *Folia Microbiologica* 47: 121-129.
62. Kandan, A., Ramiah, M., Vasanthi, V.J., Radjacommare, R., Nandakumar, R., Ramanathan, A., and Samiyappan, R. 2005. Use of *Pseudomonas fluorescens*-based formulations for management of tomato spotted wilt virus (TSWV) and enhanced yield in tomato. *Biocontrol Science and Technology*, 15 (6): 553-569.
63. DeMeyer, G., Audenaert, K. and Hofte, M., 1999. *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2-induced systemic resistance in tobacco depends on in planta salicylic acid accumulation but is not associated with PR1a expression. *Eur. J. Plant Pathol.* 105: 513–517.
64. Mann, E. W. 1965. Inhibition of tobacco mosaic virus by a bacterial extract. *Phytopathology*, 59: 658-662.
65. Ahn, I. P., Park, K., and Kim, C. H. 2002. Rhizobacteria-induced resistance perturbs viral disease progress and triggers defense-related gene expression. *Mol. Cells*, 13: 302-308.
66. Kavino, M., Harish, S., Kumar, N., Saravanakumar, D., Damodaran, T., Soorianathasundaram, K. et al., 2007. Rhizosphere and endophytic bacteria for induction of systemic resistance of banana plantlets against bunchy top virus. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 1087–1098.
67. Resca, R., Basaglia, M., Poggiolini, S., Vian, P., Bardin, S., Walsh, U.F., Enriquez, C.M., O’Gara, F., Nuti, M.P., Casella, S., and Peruch, U., 2001. An integrated approach for the evaluation of biological control of the complex *Polymixa betae*/ Beet necrotic yellow vein virus, by means of seed inoculations. *Plant and Soil*, 232: 215-226.
68. Karthikeyan, G., Doraisamy, S. and Rabindran, R. 2009. *Pseudomonas fluorescens* mediated systemic resistance against urdbean leaf crinkle virus in blackgram (*Vigna mungo*). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 42(3): 201–212.
69. Shankar V. 1995. Induction of resistance to bud necrosis disease in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). (MSc Thesis). Coimbatore, India: Tamil Nadu Agricultural University. p 145.
70. Srinivasan, K., Krishnaraj M., and Mathivanan N., 2009. Plant growth promotion and the control of Sunflower necrosis virus disease by the application of biocontrol agents in sunflower. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*; 42(2): 160-172.
71. Kavino, M., Harish, S., Kumar, N., Saravanakumar, D., Ramasamy Samiyappan. Damodaran, T., Soorianathasundaram, K. 2008. Induction of systemic resistance in banana (*Musa spp.*) against Banana bunchy top virus (BBTV) by combining chitin with root-colonizing *Pseudomonas fluorescens* strain CHA0. *Eur J Plant Pathol.*, 120: 353–362.

72. Canaday, C.H., and Reddick, B.B., 2000. Evaluation of an IPM program for control of viral disease of summer squash at the West Tennessee Experiment station. www.bioengr.ag.utk.edu/extension/extraprog/vegetable/year.
73. Yang, J., Kloepper J.W. and Ryu, C.-M., 2008. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. 2008 Elsevier Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/j.tplants. (Available online 4 December 2008).
74. Glick, B.R. 2003. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. *Biotechnol. Adv.* 21, 383–393.